

Szabados László

Új aspektusok a klasszikus cefeidák időbeli változásainak vizsgálatában

Értekezés az MTA doktora cím megszerzéséért

Budapest, 1997

Szüleim emlékének

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. A cefeidák – helyzetkép J.D. 2 450 000 epochára	4
2.1 A helyzetkép elé	4
2.2 Megfigyelési adatok	4
2.3 A cefeidákkal kapcsolatos kutatások kiemelkedő eredményei	6
2.4 A közeljövőre vonatkozó kilátások	13
3. A stacionárius pulzációból meghatározható mennyiségek és tulajdonságok	14
3.1 A stacionárius pulzáció és a cefeidák állapotjelzői.....	14
3.2 A fázisgörbék Fourier-felbontása és az s-cefeidák.....	18
4. Eredmények a pulzációs amplitúdó vizsgálata alapján	21
4.1 Az amplitúdók periódusfüggése	21
4.2 Az amplitúdók arányának vizsgálata	27
4.3 A kétmódusú cefeidák amplitúdóiról	33
5. A cefeidák kettősségével kapcsolatos új eredmények	41
5.1 A kettőscsillagok előfordulási gyakorisága a cefeidák között	41
5.2 Újabb spektroszkópai kettősök kimutatása	43
5.3 Kísérő csillag kimutatása IUE-színképek alapján	47
5.4 A kísérő csillag hatása a cefeida pulzációs periódusára	48
5.5 Új kettősök az új módszerekkel	51
5.6 A kettős cefeidák infravörös excesszusa	52
6. A Hipparcos asztrometriai mesterséges hold méréseiből meghatározott cefeida-parallaxisok és a cefeidák kettőssége	53
6.1 Cefeidák a Hipparcos programjában	53
6.2 A cefeidák távolsága és luminozitása a Hipparcos alapján	54
6.3 A cefeidák parallaxisának pontos meghatározására irányuló törekvések.....	60
7. A kutatás további lehetséges irányai	62
Köszönetnyilvánítás	65
Irodalomjegyzék	66
Függelék	73
I. táblázat	74
II. táblázat	85

1. Bevezetés

A klasszikus cefeidák (a továbbiakban csak cefeidák, mert a dolgozat csak az I. populációs cefeidákkal foglalkozik) radiális pulzációt végző, szuperóriás változócsillagok. Pulzációs periódusuk 1,5 és ≈ 100 nap közé esik. A Hertzsprung–Russell-diagramon (HRD) egy keskeny, közel függőleges tartományba, az ún. instabilitási sávba koncentrálódnak (l. 1.1 ábra). A cefeidák pulzációját a részben ionizált hidrogén és hélium zónái tartják fenn, ha e zónák a csillag légkörének megfelelő mélységű tartományában helyezkednek el (ennek felel meg a szűk hőmérséklet-tartomány a HRD-n).

A cefeidák vizsgálata több mint két évszázadra nyúlik vissza: 1784-ben szinte egyidejűleg fedezte fel *Pigott* az η Aquilae és *Goodricke* a δ Cephei (e változócsillag-típus névadója) fényváltozását. Egy évszázad elteltével, 1894-ben *Belopolszkij* felfedezte, hogy a cefeidák színképében megfigyelhető vonalak hullámhossza a fényváltozási periódussal egyező ütemben változik. A radiális sebesség e változását akkor – a fényváltozással együtt – a cefeidák kettőscsillag-voltával magyarázták.

A cefeidák változásainak radiális pulzációval történő értelmezését *Eddington* alapozta meg a két világháború között. Majdnem egy évszázada ismert a cefeidák periódusa és abszolút fényessége közötti összefüggés (*Leavitt* fedezte fel 1908-ban), ami a kozmikus távolságskála kalibrálásánál döntő szerepet juttat a cefeidáknak. A periódus – abszolút fényesség reláció valójában a periódus és a sűrűség közötti összefüggés következménye. A szabad rezgést végző csillag P oszcillációs periódusa ugyanis a következő kapcsolatban van a csillag $\bar{\rho}$ átlagsűrűségével (*Böhm-Vitense* 1992, 18. fejezet):

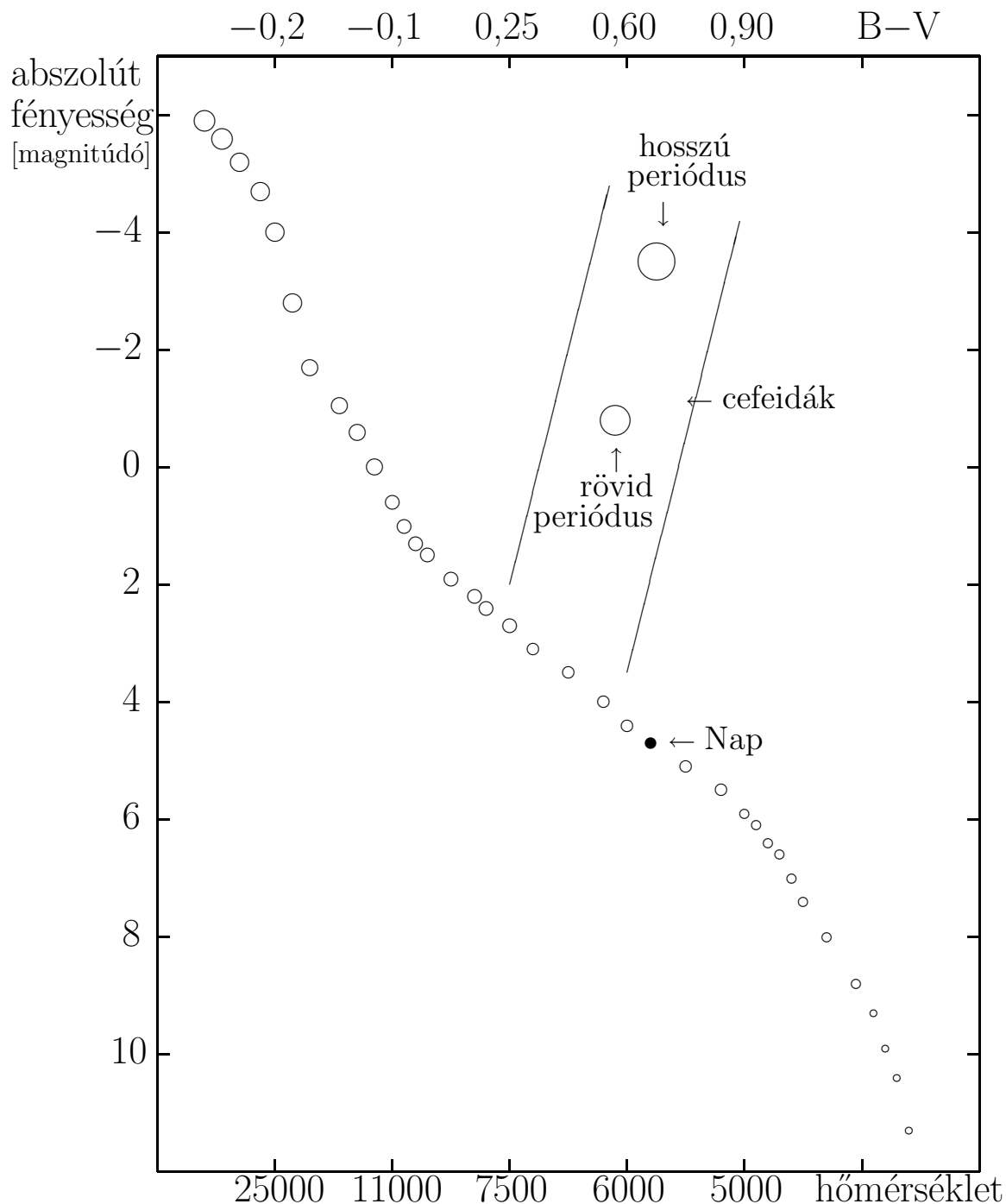
$$P = Q \times (\bar{\rho}/\bar{\rho}_{\odot})^{-1/2}$$

ahol Q az ún. pulzációs állandó (adiabatikus esetet és állandó fajhőhányadost feltételezve), a \odot index pedig a Napra vonatkozó értéket jelöli. Q értéke ténylegesen nem állandó, hanem a csillag hőmérsékleti rétegződésétől függ.

A pulzáció ugyan a csillag sajátrezgése, de nem feltétlenül alaprezgés, tehát a lehetséges legalacsonyabb frekvenciájú oszcilláció, hanem magasabb módus is gerjesztődhet. A módusok frekvenciájának aránya a csillag anyagának vertikális rétegződésére érzékeny.

Az 5–10 naptömegű csillagok a fősorozatról letérve először gyorsan áthaladnak az instabilitási sávon, majd a vörös óriás állapotba kerülve beindul a magbeli hélium fúziója. Eközben – tömegétől függően – a csillag egy vagy két alkalommal hurkot ír le a HRD-n, s eközben ismét belekerül az instabilitási sávba. Hogy a hurok milyen mélyen hatol be a magasabb hőmérsékletű tartományba, az a modellek szerint a csillag nehézelem-gyakoriságától függ. A cefeidák pulzációjáról részletes áttekintés található *John Cox* (1980) könyvében, míg fejlődési állapotukról *Iben* és *Renzini* (1984) cikke ad részletes képet.

A Tejútrendszerben jelenleg mintegy 800 cefeidát ismerünk, de becslések szerint a harmincezret is elérheti a cefeidaként pulzáló csillagok száma galaxisunkban. Fiatal objektumok lévén, erősen koncentrálnak a Tejútrendszer fősíkja mentén, s a csillagközi fényelnyelés akadályozza meg a legtöbb galaktikus cefeida kimutatását. Nagy abszolút fényességüknek köszönhetően a cefeidákat extragalaxisokban is tömegével ki lehet mutatni. A periódus – abszolút fényesség összefüggés révén pedig elsőrendű távolságindikátorok.



1.1 ábra. A cefeidák elhelyezkedése a Hertzsprung-Russell-diagramon

A cefeidák pulzációjának tanulmányozásából kapható eredmények tehát mind az

asztrofizika, azon belül is a csillagszerkezet és a csillagfejlődés vizsgálata számára, mind a kozmológia, az univerzum távolságskálájának megalkotása szempontjából nélkülözhetetlenné teszik a cefeidákat.

A cefeidákkal több mint negyed százada foglalkozom. A hazai műszerezettség erősen korlátozza a megfigyelési lehetőségeket, s ez vezetett ahhoz a törekvéshez, hogy a már meglevő észlelési adatokat a lehető legalaposabb analízis alá vessem, beleértve olyan szempontok szerinti vizsgálatokat is, amelyeket korábban nem végeztek (l. 4.–6. fejezet). A cefeidák megfigyelése ugyanis nagyon időigényes munka, mivel a pulzációs periódus hossza nem teszi lehetővé egy pulzációs ciklus folyamatos és gyors átészlelését. Nagy felbontású optikai spektroszkópai vizsgálatokat szinte csak azokról a cefeidákról végeztek, amelyek szabad szemmel is láthatók.

A „már meglevő észlelési adatok” nemcsak az általam végzett mérésekből (*Szabados* 1977, 1980, 1981, 1991, *Gieren* és társai 1989) kapott adatokat jelentik, a vizsgálatokat ugyanis kiterjesztettem a halványabb és/vagy a negatív deklinációjú cefeidákra, továbbá spektroszkópai (radiális sebesség és ultraibolya színkép) adatokat is elemeztem.

A dolgozat lényegében azokat az eredményeket foglalja össze, amelyeket a cefeidák vizsgálata terén a kandidátusi fokozat megszerzése óta értem el, tehát a periódusváltozás általános vizsgálata itt nem szerepel már.

A témaválasztás egyik fontos motiváló tényezője az a szándék, hogy megmutassam: van még létjogosultsága a sokak által már elavultnak minősített fotoelektromos fotometriának, és ez részemről nem konzervativizmus, hanem az eredményességre való törekvés az adott hazai megfigyelési lehetőségek közepette. Az 5.–6. fejezetek remélhetőleg érzékeltetik, hogy a mesterséges holdakkal végzett mérések és a hagyományos fotometriai adatok jól kiegészítik egymást, és együttes analízisük korábban nem vizsgált szempontok szerinti eredményes kutatásokat tesz lehetővé.

2. A cefeidák – helyzetkép J.D. 2 450 000 epochára

2.1 A helyzetkép elé

A cefeidák pulzációjának alapvetően szabályos jellegét a csillagászat több területén is kiaknázzák – a csillagszerkezetre vonatkozó kutatások mellett a kozmikus távolságskála meghatározásában is alapvető a cefeidák szerepe. Ugyanakkor a cefeidák pulzációjában jelentkező apró, de nem elhanyagolható szabálytalanságok, a kézikönyvekben megfogalmazott ideális viselkedéstől való eltérések számos lényeges asztrofizikai jelenség (kétmódusú pulzáció, csillagfejlődés, kísérő csillag hatása) vizsgálatát teszik lehetővé.

A cefeidák vizsgálatával foglalkozó legátfogóbb könyv az első cefeida felfedezésének kétszáz éves évfordulója alkalmával – dokumentálhatóan az én kezdeményezésemre – rendezett konferencia kiadványaként jelent meg (*Madore*, 1985). Az azóta eltelt több mint egy évtized alatt a cefeidák távolságjelző szerepét bőségesen tárgyalja a szakirodalom (l. 2.3.7), de a cefeidákkal kapcsolatos kutatás egyéb eredményeivel csak egyetlen lényeges áttekintő cikk (*Simon*, 1990) foglalkozik. Mivel ez utóbbi cikk néhány részlete is elavult az elmúlt években bekövetkezett látványos fejlődés miatt, időszerűnek tartottam, hogy a cefeidákra vonatkozó ismereteket és legújabb eredményeket külön cikkben is összefoglaljam, amikor a változócsillagászat több területén jelentős munkásságot kifejtett, görög *L.N. Mavridis* professzor tiszteletére kiadott könyv egy fejezetének megírására kértek fel, és a témaválasztásban szabad kezet kaptam. A doktori dolgozat e fejezete az angol nyelvű áttekintés (*Szabados*, 1997a) apró részletektől eltekintve teljes magyar fordítása.

A cefeidákkal kapcsolatban az elmúlt években elért fontos eredményeket a következő kedvező hatások segítették elő:

- a megfigyelési tartomány kiterjesztése mind az ibolyántúli, mind az infravörös hullámhosszakra;
- a megfigyelési pontosság fokozása valamennyi észlelési technika esetében;
- hatalmas, új megfigyelési projektek végrehajtása;
- a pontosabb atomfizikai modellekből kapott új opacitásértékek.

2.2 Megfigyelési adatok

Még az sem biztos, hogy valamennyi fényes galaktikus cefeidáról tudomásunk van. Igaz, hogy a Hipparcos asztrometriai mesterséges hold fotometriai mérései alapján csak két korábban ismeretlen cefeidát találtak (a 970 újonnan felfedezett változócsillag között – *ESA*, 1997), de az egészen kis amplitúdójú cefeidák szisztematikus felkutatása még várat magára. Az ilyen pulzátorok létezésére jó példa

a γ Cygni (HR 7796), amelynek a pulzációból eredő radiális sebesség-változása mindössze 350 m/s (*Butler* 1992), ami 0,01 magnitúdónál kisebb fotometriai amplitúdónak felel meg.

Egyes cefeidák beható tanulmányozása mellett több olyan fotometriai és spektroszkópiai kutatást is véghez vittek (egy részük jelenleg is tart), amelynek keretében nagyon nagy számú cefeidát vizsgáltak. A legátfogóbbak:

- **Fotometria.** *Berdnikov* és munkatársai tíznél több fontos cikket (fotoelektromos 2–4-szín-fotometria az UBVRI sávokban) publikáltak az elmúlt évtizedben (*Berdnikov* 1995 és az abban szereplő hivatkozások), halványabb cefeidák fotometriáját közölte *Henden* (1996a,b), valamint *Schmidt* és munkatársai (1993, 1995). A közeli infravörös JHK-sávokban *Laney* és *Stobie* (1992) végzett kiterjedt fotoelektromos fotometriát.
- **Radiális sebesség.** Két kiemelkedően fontos megfigyelési sorozatot kell megemlíteni. A „moszkvai csoport” (l. *Gorynya* és munkatársai, 1996b, valamint az abban szereplő hivatkozások) CORAVEL-típusú spektrográfot használ, a „genfi csoport” pedig korábban csak az eredeti CORAVEL-lel, újabban pedig a még érzékenyebb és pontosabb ELODIE-spektrográffal is rendszeresen végez cefeidákra vonatkozó radiális sebesség-méréseket (*Bersier* és mtársai 1994; *Pont* és mtársai 1994a, 1997). Az újabb adatok alapján mind több és több cefeidáról derül ki, hogy spektroszkópiai kettős tagja (l. 2.3.2).
- **Extragalaktikus cefeidák.** A gravitációs mikrolencse hatásának kimutatására irányuló tömeges fotometriák nagy előrelépést jelentettek a Magellán-felhők cefeidáinak elemzésében. Az újonnan kapott megfigyelési adatok száma, azok pontossága, valamint az első publikált eredmények egyaránt elismerésre méltóak (a MACHO-csoport eredményei: *Alcock* és mtársai 1995, *Welch* és mtársai 1996; az EROS-csoport eredményei: *Beaulieu* és mtársai 1995).

A Hubble-űrtávcsővel vagy a földfelszíni óriástávcsövekkel végzett kutatások alapján 20 fölé emelkedett azon extragalaxisok száma, amelyben már sikerült cefeidákat kimutatni. Ezek a galaxisok a kozmikus távolságskála felépítése szempontjából jelentősek, mert segítségükkel viszonylag tág tartományban lehetséges a másodlagos távolságindikátorok cefeidákon alapuló kalibrálása.

A cefeidák infravörös fotometriája, valamint ultraibolya és infravörös spektroszkópiája új távlatokat nyitott. Az infravörös sávnak számos előnye van: kevésbé érzékeny a csillagközi vörösedésre; ezeken a hullámhosszakon a fényváltozás mértékét a cefeida átmérőjének változása szabja meg, a hőmérséklet változásának hatása elhanyagolható; hasonlóképpen jelentéktelen a kísérőcsillagok hatása (a kék kísérő infravörös sugárzása elenyésző, az esetleges vörös kísérő pedig minden hullámhosszon jóval halványabb a cefeida komponensnél); a periódus – abszolút fényesség összefüggés leszarmasztatása szempontjából lényeges könnyebbség, hogy az infravörösben a fényváltozási amplitúdó jóval kisebb az optikainál (vagyis az átlagfényesség kevés adatból is meghatározható), és az infravörös színindexekre nem hatnak a kémiai összetételben tapasztalható különbségek. Az ultraibolya tartomány vizsgálata a kettős cefeidák szempontjából (a kísérők túlnyomó többsége

korai színképtípusú), valamint a pulzáló légkörben lezajló folyamatok elemzése miatt is lényeges.

Napjainkban három fontos adatbázis segíti elő a cefeidákkal kapcsolatos kutatásokat:

- A *Douglas L. Welch* által kezdeményezett és fenntartott adatbázis a legutóbbi két évtizedben publikált fotometriai és radiálissebesség-adatokat – köztük az általam észlelteket is – teszi elektronikusan hozzáférhetővé (WWW-címe: <http://www.physics.mcmaster.ca/Cepheid/>).
- *Leonid N. Berdnikov* (1995) adatbázisa az egyes cefeidák bibliográfiáját tartalmazza.
- A *J. Donald Fernie* és munkatársai (1995) által összeállított és gondozott adatbázisban ötszáznál több cefeida fenomenologikus paraméterei és az azokból meghatározott fizikai tulajdonságok szerepelnek. Ezek a listák a <http://ddo.astro.utoronto.ca/cepheids.html> címen érhetők el.

2.3 A cefeidákkal kapcsolatos kutatások kiemelkedő eredményei

2.3.1 Szekuláris változások

A csillagfejlődésből származó jelenségek a cefeidák szabályos pulzációjában fellépő apró szabálytalanságokként mutatkoznak. Mivel a fényes cefeidák fotometriai megfigyelése hosszú időre nyúlik vissza, a pulzációs periódus változásait már évtizedek, sőt egy-két évszázad óta nyomon lehet követni.

Több mint száz cefeida periódusváltozásának elemzése alapján állítható, hogy a megfigyelt periódusváltozások megfelelnek a csillagfejlődési modellek által jelzett értékeknek (*Szabados* 1983; *Fernie* 1984a), de a pulzációs periódus értékét más fizikai hatások is befolyásolják. A leghosszabb periódusú galaktikus cefeidáknál például ciklikus változások tevődnek rá a pulzációs periódus hosszú időskálájú növekedésére vagy csökkenésére (*Berdnikov* 1994). *Fernie* (1990b) azt is kimutatta, hogy az evolúciós eredetű periódusváltozás nem feltétlenül lineáris; az Y Ophiuchi O–C diagramja például harmadrendű polinommal közelíthető a legjobban.

A szekuláris változások terén új eredménynek számít a pulzáció amplitúdójában bekövetkező változás felfedezése két cefeidánál. Ilyen jellegű kutatásokat már korábban is végeztek (pl. *Asteriadis* és mtársai 1974), de az akkori fotometriai pontosság még nem tette lehetővé az ilyen effektus kimutatását. A Polaris amplitúdójának csökkenésére elsőként *Arellano Ferro* (1983) utalt. A későbbi észlelések megerősítették, hogy a fényváltozás és a radiális sebesség változásának amplitúdója egyaránt csökken. Az amplitúdó csillapodása azt jelezte, hogy a sarkcsillag pulzációja 1995-ben teljesen leáll, azonban a Polaris még 1996-ban is kimutathatóan pulzált (*Kamper* 1996). A szekuláris amplitúdócsökkenést mutató másik cefeida az Y Oph (*Fernie* 1990b). A pulzáció folyamatos csillapodásának oka azonban egyik esetben sem világos, mivel nem arról van szó, hogy e csillagok kilépnek

az instabilitási sávból (l. *Fernie és társai 1993*), amint azt az egyes csillagok színképtípusa és vörösödésre korrigált színindexe jelzi.

A γ Cygni egész kis amplitúdójú pulzációját (*Butler 1992*) szem előtt tartva az sem lenne meglepő, ha az ezred magnitúdós amplitúdójú pulzáció nagy számban fordulna elő a cefeidák között. Az ilyen csillagok kimutatása komoly észleléstechnikai feladat, és e téren még az arra vonatkozó csillagmodellek kidolgozása is várat magára, hogy mi szabja meg és hogyan szabályozza a cefeidák pulzációs amplitúdóját.

2.3.2 Kettőscsillagok a cefeidák között

Nagyon fontos új fejlemény a cefeidákkal kapcsolatos kutatásban annak felismerése, hogy közöttük teljesen normális a kettőscsillagok előfordulása, vagyis olyan gyakori, mint a Nap közelségében levő csillagokra jellemző érték (nagyjából 50 százalék). Ebből következően a kettősök egyik tagjaként pulzáló cefeidák fontos szerepet tölthetnek be a cefeidák jellemző fizikai tulajdonságainak meghatározásában.

A cefeidák kísérőinek kimutatásánál fellépő kiválasztási effektusra én hívtam fel a figyelmet (*Szabados 1995*). Az egyes cefeidák alapos megfigyelése révén azóta a korábbi várákozást jócskán meghaladó számú cefeida kettős rendszerhez való tartozását sikerült bizonyítani.

A kék kísérők kimutatása az IUE mesterséges hold segítségével készített ultraibolya színképek alapján vált lehetségessé (*Evans 1992a* és az abban szereplő hivatkozások). A kevésbé forró kísérők közvetlen kimutatása sokkal időigényesebb: a radiális sebesség pulzációs eredetű változására rakódó, a pálya menti mozgástól származó hatást kell detektálni. E tekintetben a genfi és a moszkvai csoport által végzett mérések (l. a 2.2 fejezetet) kiváltképpen hasznosak. A saját méréseik alapján felfedezett kettősökön kívül további harminc spektroszkópiai kettőst sikerült találni a szakirodalomban korábban publikált radiálissebesség-adatokkal való összevetés során (*Szabados 1996; Szabados és Pont 1997*). (A vörös kísérők fotometriai alapon történő kimutatására vonatkozó új módszert és az azzal kapott eredményeket a 4.2 és 5.5 fejezetben ismertetem.)

2.3.3 Kétmódusú cefeidák

A legutóbbi évtized leglátványosabb eredményei a cefeidákkal kapcsolatban a Nagy Magellán-felhő vizsgálatának köszönhetőek. A MACHO-projekt keretében több mint 1500 Nagy Magellán-felhőbeli cefeidát analizáltak, és ennek során 73 új kétmódusú cefeidát találtak (*Welch és társai 1996*). E csillagok mindegyikéről sok száz fényességadat gyűlt össze mindkét fotometriai sávban. A tejútrendszerbeli cefeidákkal összehasonlítva ezeket a számokat, kitűnik, hogy a Magellán-felhő máris alaposabban vizsgált e tekintetben. Az ismert galaktikus cefeidák száma nem éri el a nyolcszázat, és azok feléről még pontos fénygörbe sem készült, továbbá az ismert kétmódusú cefeidák száma a Tejútrendszerben csupán 16, és az azokról rendelkezésre álló megfigyelési anyag is meglehetősen inhomogén.

A Nagy Magellán-felhő kétmódusú cefeidaival kapcsolatos, lényeges, új eredmény, hogy közöttük nagy gyakorisággal fordulnak elő olyan csillagok, amelyeknél az első

és a második felhang gerjesztődött egyidejűleg az alaprezgés nélkül (*Alcock* és mtársai 1995; *Welch* és mtársai 1996). A különböző módusban pulzáló cefeidák a periódus – abszolút fényesség diagramon is elkülönülnek, és a két felhangnak megfelelő periódus aránya ($P_2/P_1 = 0,80$) megerősíti azt a korábbi gyanút, hogy a CO Aurigae ugyancsak e két felhangban oszcillál. A periódusarányok azonban szisztematikusan meghaladják a galaktikus beat cefeidák alapján meghatározott értékeket, ami a Nagy Magellán-felhő csillagainak kisebb fémtartalmával magyarázható.

A V473 Lyrae nem kétmódusú, de két periódusával egészen különleges a galaktikus cefeidák között. Másfél napos (a galaktikus klasszikus cefeidák között a legrövidebb) periódusú pulzációjának amplitúdója erősen modulált, mégpedig igen hosszú, 1260 napos ciklussal. A legnagyobb és a legkisebb amplitúdó hányadosa majdnem tíz mind a fényesség, mind a radiális sebesség változását tekintve. *Van Hoolst* és *Waelkens* (1995) szerint ez a páratlan jelenség a radiális pulzáció második felhangja és egy stabilan gerjesztődő nem-radiális módus közötti rezonáns kölcsönhatás eredménye.

2.3.4 A cefeidákat és pulzációjukat jellemző tulajdonságok

A pulzáció miatt bekövetkező változásoknak köszönhetően a cefeidák számos fizikai jellemzőjét meg lehet határozni közvetlenül a megfigyelésekből vagy megfelelően kalibrált összefüggések alapján. A cefeidákra vonatkozó adatok meghatározásának pontossága az idő előrehaladtával folyamatosan javul, ami a közeljövőben remélhetőleg lehetővé teszi a Hubble-állandó tíz százaléknál kisebb hibával történő meghatározását.

A cefeidák hőmérséklete, átmérője, tömege, luminozitása és pulzációs módusa azonban „saját jogon” is fontos asztrofizikai mennyiségek, és nemcsak azért, mert ezek pontos értékéből származtatható végül is a kozmikus távolságskála.

A cefeidák méretének meghatározására rendszerint a Baade–Wesselink-módszer különféle módoszatait használják (l. *Moffett* 1989). A periódus és az átlagos sugár közötti összefüggésről *Simon* (1990) és még újabban *Laney* és *Stobie* (1995) adott áttekintést. Ez utóbbi munkában a periódus–sugár (P–R) reláció pontos alakja a V, J, K színekre meghatározott összefüggés egyesítésével:

$$\log R = 1,070 + 0,751 \times \log P \quad .$$

Az infravörös fotometria használatával figyelmen kívül hagyható a lokális gravitáció és a mikroturbulencia egy pulzációs ciklus alatt bekövetkező változásának hatása. Ez az összefüggés jelentősen eltér az OPAL előtti opacitásadatok alapján számított elméleti relációtól (*Fernie* 1984b).

A pulzációs módus ismerete szintén különlegesen fontos. A fénygörbék Fourier-felbontásával olyan numerikus paraméterek (amplitúdóarányok és fáziskülönbségek) származtathatók, amelyek a cefeida pulzációs módusára is utalhatnak. A fő gond e tekintetben a közönséges klasszikus cefeidák megkülönböztetése az ún. s-cefidáktól. Általában felteszik, hogy az s-cefidák kis amplitúdójú, szinuszos fénygörbéje az első felhangban történő pulzáció következménye, míg a normális amplitúdójú cefeidák

alapvizsgést végeznek. A probléma azonban korántsem megoldott, mivel:

- A fényváltozás megfigyelhető amplitúdóját a cefeida kísérő csillaga is lecsökkentheti;
- A szinuszos jelleg csak az egészen rövid pulzációs periódusnál érvényesül;
- *Böhm-Vitense* (1988) nézete szerint pedig a 8–9 napnál rövidebb periódusú cefeidák mind felhangban pulzálnak.

Bár *Antonello* és munkatársai (1990, majd azt követően több cikkben is) és *Morgan* (1995) megpróbálta szilárd alapokra helyezni a két csoport elkülönítését, a négy napnál hosszabb pulzációs periódus esetén a fénygörbe alakja alapján történő szétválasztás nincs megoldva (l. még *Welch* és mtsai 1996, 1. ábráját). A Magellán-felhőkben található cefeidák alapján azonban nyilvánvaló, hogy a rövid periódusú s-cefeidák az első felhangban pulzálnak (*Buchler* és *Moskalik* 1994; *Welch* és mtsai 1996).

A fénygörbe **Fourier-felbontása** hasznos eljárás a rezonanciák tanulmányozásához is, ami a csillagmodellek ellenőrzésében jelent nagy segítséget (l. *Antonello* 1994 és az abban szereplő hivatkozások).

Az egyes cefeidák **színexcesszusának** pontos meghatározása (*Fernie* 1990a) nagyban hozzájárult az instabilitási sáv szerkezetének és tulajdonságainak megismeréséhez. *Fernie* (1990c) szerint az instabilitási sáv kék széle az $Y = 0,28$ héliumgyakoriságnak és $Z = 0,02$ „fémtartalomnak” felel meg. Lényeges új eredmény, hogy a sáv vörös széle a megfigyelések alapján nem párhuzamos a kék határral, a galaktikus cefeidákra vonatkozóan az instabilitási sáv ék alakú: kisebb luminozitásnál egyre szűkebb a pulzációnak kedvező hőmérséklettartomány. *Chiosi* és munkatársai (1992) elméleti számításai is megerősítették az instabilitási sáv nagyobb luminozítás felé történő kiszélesedését.

Az új **opacitásértékek** révén feloldhatóvá vált a hosszú ideig gondot okozó tömegdiszkrepancia (l. 2.3.6), de további erőfeszítéseket kell tenni annak érdekében, hogy a különböző tömegmeghatározási módszerek egybehangzó eredményt szolgáltatassanak. E tekintetben igen fontos a kettős rendszerbe tartozó cefeidák részletes tanulmányozása (l. pl. *Evans* 1995b). A cefeidák **tömegének** pontos ismerete a konvektív túllövés szerepének tisztázása miatt is lényeges (*Sebo* és *Wood* 1995).

Az infravörös tartományban végzett spektroszkópai vizsgálatokkal a cefeidák **légkörére** vonatkozó információkhoz lehet jutni. *Sasselov* és *Lester* (1990b) nagy felbontású infravörös színeképeket vizsgált 1,08 és 1,6 μm -es hullámhosszaknál. Kimutatták egy a Mira változóknál megfigyeltre emlékeztető kinematikájú abszorpciós komponens létét. A jelenség a pulzáció keltette lökéshullámként értelmezhető a csillag légkörében. Az infravörös színeképvonalak intenzitásarányaiból ugyanők nagyon pontos hőmérsékletet és vörösödést határoztak meg a klasszikus cefeidákra (*Sasselov* és *Lester* 1990a).

Nagy felbontású színeképek esetén a különböző ionizációs állapotú és gerjesztési energiájú elemek eltérő radiális sebesség-görbét eredményeznek. A csillaglégkörben fellépő sebességgradienssel, valamint annak a sugármeghatározásra vonatkozó

következményeivel *Butler* és munkatársai (1996) foglalkoztak.

Bersier és *Burki* (1996) színeképvizsgálataik során leválasztották a **turbulencia** hatását. Azt is kimutatták, hogy a turbulencia mértéke különbözik a közönséges és az s-cefeidákra, s ennek alapján remélhető a kétféle pulzátor megkülönböztetése.

2.3.5 A cefeidák és a Tejútrendszer szerkezete

Bár az ismert galaktikus cefeidák száma nem nőtt jelentősen az elmúlt évtizedekben, a térbeli eloszlásukkal kapcsolatos vizsgálatok mégis fontos új eredményekre vezettek, mert az új radiálissebesség-adatok megbízhatóbbak és a csillagközi vörösödés (ennek következtében a távolság) meghatározása jóval pontosabb, mint egy évtizede.

A tejútrendszerbeli cefeidák eloszlásának homogén adatokon alapuló, legutóbbi átfogó vizsgálata (*Fernie* 1995) a következő új eredményekkel járt. Egyrészt kiderült, hogy az idősebb cefeida-generáció (a hat napnál rövidebb pulzációs periódusúak) a galaxis fősíkjával párhuzamosan helyezkedik el, de 50 parszekkal „alatta”, másrészt a fiatalabb cefeidák (vagyis a 10 napnál hosszabb periódusúak) ugyan a fősíkba koncentrálnak, de síkjuk szöget zár be a fősíkkal.

A Kis Magellán-felhő térbeli szerkezetét is sikerült meghatározni a benne található cefeidák eloszlásának és tulajdonságainak vizsgálatából (*Feast* 1993 és az abban szereplő hivatkozások).

A cefeidák kinematikáját illetően *Caldwell* és *Coulson* (1987), valamint *Pont* és szerzőtársai (1994b) munkája érdemel említést. Megnyugtató, hogy a galaktikus rotáció leírására irányuló mindkét vizsgálat gyakorlatilag azonos értéket adott a Nap galaktikus centrumtól való távolságára: rendre $7,8 \pm 0,7$, ill. $8,1 \pm 0,3$ kpc jött ki.

Kimutatható, hogy a távoli cefeidák fémtartalma szisztematikusan változik a galaktikus korong mentén. A genfi csoport (*Pont* és mtársai 1995) jelezte, hogy radiálissebesség-méréseikből a keresztkorrelációs függvény alapján meg tudják határozni a csillag fémtartalmát.

A cefeidák kinematikai vizsgálatainak további aspektusait *Caldwell* és mtársai (1992) cikke foglalja össze.

2.3.6 Cefeida-modellek

Az új (250 000 K-nél a korábbihoz képest lényegesen megnövelt) OP/OPAL opacitásértékek eredményeként megszűnt a cefeidák tömegével kapcsolatos ellentmondásos helyzet. A számítások szerint (*Moskalik* és mtársai 1992) a csillagfejlődési modellből és a kétmódusú pulzációból levezetett tömeg összhangba került. Jelenleg már csak a fejlődési és a pulzációs (vagyis az egymódusú pulzációból meghatározott) tömeg között van eltérés. Ennek feloldására a cefeida előtti állapotnál a konvektív túllövés figyelembevételét szorgalmazzák.

Az új cefeida-modellek szerint (l. *Maeder* 1995-ös áttekintő tanulmányát, valamint

az abban felsorolt hivatkozásokat) a felszíni héliumtartalom, valamint a nitrogén és szén gyakoriságának aránya egyaránt függ a cefeida fémtartalmától és tömegétől. A nagyobb tömegű csillagokban a konvektív úton történő felfelé szállítás nagyobb hatékonysága miatt erősebb a légköri feldúsulás. A héliumtartalomban tapasztalható különbség a pulzáció gerjesztő mechanizmusára is hatást gyakorol, s azon keresztül a cefeida típusú változás amplitúdójára is.

Az elméleti számítások azonban még jelenleg sem képesek reprodukálni a stabil kétmódusú viselkedést (*Kovács* 1993), noha a megfigyelések szerint a TU Cassiopeiae (erről a beat cefeidáról áll rendelkezésre a leghosszabb megfigyelési sorozat) közel egy évszázada stabilan pulzál egyidejűleg gerjesztődött két módusban.

2.3.7 A cefeidák távolságának meghatározása

A cefeidák távolságjelző szerepe a Hubble-űrtávcső kiváló teljesítménye révén is érvényre jutott. Az űrtávcső egyik kiemelt kutatási témája ugyanis a Hubble-állandó pontos értékének meghatározása, amely projektben a cefeidák az elsődleges távolság-indikátorok. A Hubble-űrtávcső segítségével eddig már a következő extragalaxisokban fedeztek fel cefeidákat: M81, M95, M96, M100, M101, NGC 925, NGC 4414, NGC 4536, NGC 4639, NGC 5253, IC 4182. Földfelszíni optikai távcsövekkel több más extragalaxisban is mutattak már ki cefeidákat. A Virgo-halmazhoz tartozó NGC 4571-beli cefeidák felfedezése (*Pierce és társai* 1994) példázza a földi megfigyelési technika teljesítőképességét.

A kozmikus távolságskála felépítésére itt nem térek ki, csupán a periódus–luminozitás (nem pontos, de hazai körökben elterjedt szóhasználat: periódus–fényesség) összefüggéssel, valamint a periódus–luminozitás–szín relációval kapcsolatos jelenlegi helyzetet tekintem át.

Az előző évtizedekkel szemben, amikor létezett egy általánosan használt periódus–luminozitás–szín összefüggés (*Sandage és Tammann* 1969), jelenleg nincs a szakma által elfogadott formája e relációnak. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a korábbiakhoz képest romlott volna a helyzet. Az összefüggés minél pontosabb kalibrálásával rengetegen foglalkoznak, és még a téma összefoglalására vonatkozó irodalom is kiterjedt (pl. *Madore és Freedman* 1991; *Gieren és Fouqué* 1993; *Feast* 1995). Bár egymásnak ellentmondó nézetek is találhatók a szakirodalomban, abban a tekintetben teljes az egyetértés, hogy a cefeidák különféle módokon meghatározott abszolút fényességének bizonytalansága nem haladja meg a 0,1 magnitúdót. A még teljesebb összhang elérése érdekében legyőzendő problémák azonban nem csekélyek.

Abban is teljes az egyetértés, hogy a periódus–luminozitás összefüggés csak közelítőleg érvényes, mert szükséges a színtől függő tag figyelembevétele, az instabilitási sáv ugyanis nem elhanyagolhatóan kis szélességű. A periódus–luminozitás–szín relációnak is van ugyanakkor egy természetes szélessége. Ez a komplikáció főleg a cefeidák különböző fémtartalma, vörösödése, pulzációs módusa és az instabilitási sávon való többszöri áthaladás miatt lép fel. Bár a fémtartalom és a vörösödés hatása a megfigyelési hullámhossz növelésével kiküszöbölhető – ezért sokkal keskenyebbek az infravörös sávokban meghatározott relációk, mint az optikai hullámhosszakra vonatkozók (*Laney és Stobie* 1994) –, a kérdést nem lehet elhanyagolni.

Az elméleti periódus–luminozítás reláció meredeksége a V sávban független a fémtartalomtól, míg a bolometrikus fényességre vonatkozóan az összefüggés nullapontja nem függ a nehézelem-gyakoriságtól (*Stothers* 1988). A periódus–luminozítás–szín reláció alakja azonban függ a vizsgált csillagok fémtartalmától. E tekintetben ígéretes fejlemény, hogy *Pont* és munkatársai (1995) módszert dolgoznak ki, amellyel a radiális sebesség meghatározása céljából észlelt színekpvonalak profiljából a fémtartalom is meghatározható.

A vörösödés okozta bizonytalanság kiküszöbölésére *Fernie* (1990a) több mint 300 galaktikus cefeida színexcesszusát határozta meg homogén módon. A pulzációs módust (l. 2.3.4), de különösen az instabilitási sávon való áthaladás sorszámát nem könnyű meghatározni – ez utóbbinál általában azzal a feltevessel élnek, hogy a cefeidák másodszor keresztezik az instabilitási sávot, mert az a leglassúbb az öt lehetséges áthaladás közül.

A cefeidák abszolút fényességét legalább négyféle megfigyelési módszerrel lehet meghatározni, amelyek pontosságát *Gieren* és *Fouqué* (1993) áttekintő tanulmánya részletezi. A négy módszer:

- a nulla korú fősorozat illesztése cefeidákat tartalmazó nyílthalmazok szín–fényesség diagramjához;
- a Baade–Wesselink módszer különböző változatai;
- statisztikus parallaxis;
- cefeidát tartalmazó kettőscsillagok alapján meghatározott luminozítás.

Említésre érdemes, hogy a közeljövőben mindegyik módszer esetében a pontosság további jelentős fokozódása várható.

- A fősorozat-illesztésnél a közeli nyílthalmazok távolságát pontosan meg lehet határozni a Hipparcos asztrometriai mesterséges hold adataiból;
- Bár a Baade–Wesselink módszer vizuális felületi fényességre alapozott változata már kiszorította a hagyományos sugármeghatározási eljárást (*Gieren* és munkatársai 1993), a radiálissebesség-adatok kezelése még nem kielégítő. *Sabbey* és munkatársai (1995) ugyanis kimutatták, hogy az aszimmetrikus vonalprofilok miatt szisztematikus és fázisfüggő korrekciók alkalmazására egyaránt szükség van a látóirányú sebesség megállapításánál. *Albrow* és *Cottrell* (1994) a vonalprofilok változásából a gondosan meghatározott vetítési tényező fontosságára hívta fel a figyelmet (az észlelt és a radiális sebesség közti áttéréskor).
- A statisztikus parallaxist a közvetlenül meghatározott trigonometrikus parallaxis váltja fel (l. a 6. fejezetet a Hipparcos mérésein alapuló cefeida-parallaxisokról).
- A cefeidát tartalmazó kettős rendszerek számának és a különféle mérési módszerek pontosságának növelése a kísérő csillag és a cefeida luminozításának pontos meghatározását teszi lehetővé.

2.4 A közeljövőre vonatkozó kilátások

A halvány cefeidák számának lényeges növekedése várható az amerikai 2MASS és a nyugat-európai DENIS infravörös felmérések adataiból (*Feast* 1994), valamint a Tycho-misszió végrehajtása során mért egymillió csillag fotometriai adatai alapján (*ESA* 1997). Így lehetőség nyílik a galaktikus kinematika alaposabb tanulmányozására, és az újonnan felfedezett cefeidák némelyike (halmaztagok vagy kettőscsillagokhoz tartozó változók) tovább növeli a periódus–luminozitás reláció kalibrálására alkalmas csillagok számát.

A fényesebb csillagok között a γ Cygnihez hasonló, rendkívül kis amplitúdójú cefeidák (*Butler* 1992) felfedezése várható. A cefeidák instabilitási sávjában található csillagok mintegy felénél nem tapasztalható fényességváltozás 0,02 magnitúdót meghaladó szinten (a V sávban). A fotometriai pontosság leszorítása az ezred magnitúdós szintre minden bizonnyal sok új cefeida felfedezéséhez vezet majd.

A cefeidák tekintetében kincsesbányaként szolgáló két Magellán-felhő kiaknázása tovább folytatódik. A következő lépés a radiális sebesség tömeges meghatározása a Tejútrendszer két szabálytalan alakú kísérőjének cefeidáira, ami egyaránt elősegíti újabb spektroszkópiai kettősök kimutatását és a Baade–Wesselink módszer elvén alapuló technikák alkalmazását ezen extragalaktikus cefeidákra a sugár és a luminozitás meghatározása érdekében. Az első ilyen irányú vizsgálatok máris igazolták a várakozások jogosságát: *Imbertnek* (1994) sikerült meghatároznia három olyan cefeida keringési periódusát, amely a Magellán-felhőkben található spektroszkópiai kettős egy-egy tagja, továbbá a felületi fényesség módszerét alkalmazva a HV 829 cefeida alapján meghatározták a Kis Magellán-felhő távolságát (*Barnes* és mtsai 1993), a Nagy Magellán-felhőét pedig a HV 899 és a HV 2257 cefeidák alapján (*Gieren* 1993).

Számítani lehet egyre távolabbi galaxisokban is a cefeidák kimutatására (továbbra is főként a Hubble-űrtávcsővel).

A tejútrendszerbeli cefeidákat illetően az újonnan felállított interferométerekkel a közeli cefeidák szögátmérőjének változása is kimérhető a pulzációs ciklus alatt (*Booth* és *Davis* 1996), ami természetesen a periódus–luminozitás összefüggés korábbiaktól független kalibrálásának lehetőségét kínálja.

A cefeidák távolságskálájának nullapontját a legbiztosabban egy olyan fedési változóval lehetne meghatározni, amelynek egyik komponense cefeida változócsillag. Tekintettel a cefeidák között előforduló kettősök nagy gyakoriságára és a korábban nem ismert, halvány cefeidák várható tömeges felfedezésére, nem lehetetlen, hogy a közeljövőben ilyen fontos csillagot sikerül találni.

3. A cefeidák pulzációjából meghatározható mennyiségek és tulajdonságok

3.1 A stacionárius pulzáció és a cefeidák állapotjelzői

A csillagok felépítése, belső szerkezete a hidrodinamika alapvető egyenleteinek megoldásával határozható meg. A modellszámítások során ésszerű elhanyagolásokat szoktak tenni (pl. eltekintenek a tengely körüli forgástól és a mágneses mezőtől), hogy a számítás még végrehajtható legyen, és a kiegészítő egyenletekben szereplő mennyiségek olyan megválasztására törekednek, hogy az eredmény minél inkább összhangban legyen a megfigyelésekkel.

Az alapegyenletek a tömeg, az impulzus és az energia megmaradását öntik matematikai formába. Ha $M(r)$ az r sugáron belüli tömeg:

$$M(r) = \int_0^r 4\pi r'^2 \rho(r') dr'$$

ahol $\rho(r)$ a sűrűség, akkor a tömegelem mozgásegyenlete:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = -\frac{GM(r)}{r^2} - 4\pi r^2 \frac{\partial P(\rho, T)}{\partial M}$$

ahol G a gravitációs állandó, P a nyomás, T pedig a hőmérséklet.

Az r rádiuszon áthaladó sugárzási fluxus:

$$L(r) = -(4\pi r^2)^2 \frac{4\sigma}{3\kappa(\rho, T)} \frac{d(T^4)}{dM}$$

ahol σ a Stefan–Boltzmann-állandó, $\kappa(\rho, T)$ pedig az opacitás.

A hődiffúziós egyenlet alakja a következő:

$$T \frac{\partial S(\rho, T)}{\partial t} = -\frac{dL}{dM} + \epsilon(\rho, T)$$

ahol S az entrópia, ϵ pedig a tömegelemben felszabadult nukleáris energia.

A szabad felületen ($r = R_0$ $M(r) = M$) a mozgásegyenletben $P = 0$ a peremfeltétel. A sugárzási határfeltétel pedig az, hogy a csillag felszínén:

$$\frac{d(T^4)}{d\tau} = \frac{T^4}{\text{állandó}}$$

ahol τ az optikai mélység.

A csillagok lineáris pulzációját a sztatikus állapot kicsiny perturbációjaként lehet kezelni, mivel az oszcilláció amplitúdója jóval kisebb, mint a csillag karakterisztikus mérete. Lineáris, adiabatikus rezgést feltételezve az egyensúlyi állapot körüli oszcillációra egy sajátérték-egyenlet adódik, amelynek megoldása megadja a csillag sajátfrekvenciáját, amellyel maga a pulzáció is történik. Szuperóriásoknál a sűrűség befelé haladva a csillag magjához közel már rohamosan nő, ezért az oszcilláció amplitúdója a csillag energiatermelő magjában nullának vehető. Klasszikus pulzációs modelljében *Christy* (1968) ennek alapján szilárd falnak tekintette az $r = \frac{1}{4}R_0$ határt, peremfeltételként az $\dot{r} = 0$ és $L = L_0$ értékeket alkalmazva ezen határnál.

Már a legegyszerűbb modell is jól visszatükrözi a cefeidák számos megfigyelhető tulajdonságát, kivéve a csillag tömegét (l. később), de az új opacitások használatával ezt az eltérést is sikerült kiküszöbölni (*Moskalik* és mtársai 1992). A lineáris modelleket is időközben a valóságot sokkal inkább megközelítő nemlineáris modellekkel váltották fel.

A nyolcvanas években terjedt el az analitikusan kezelhető amplitúdóegyenlet formalizmus a csillagpulzáció leírására (a *W. Dziembowski* és *J.R. Buchler* köré szerveződött csoportok tevékenysége révén, amelyből aztán a *Kovács Géza* vezette magyar pulzációelméleti csoport is kialakult).

A csillagoszcillációra jellemző amplitúdóegyenlet legegyszerűbb alakja – egyetlen gerjesztett módust feltételezve – a következő (*Buchler* 1996):

$$\frac{dA}{dt} = \tau A - qA^3 + O(A^5) \quad ,$$

ahol τ az oszcilláció növekedési rátája, A az amplitúdója, q pedig a csillag szerkezetétől függő mennyiség.

A csillag lineáris stabilitása esetén $\tau < 0$, és az amplitúdóegyenlet megoldását hosszú távon az $A(t) \rightarrow 0$ jelenti. Lineáris instabilitás esetén viszont egy állandó pulzációs amplitúdóhoz közelít, e határciklus elérésekor az amplitúdó:

$$A = (\tau/q)^{1/2} \quad .$$

A csillag pulzációja során periodikusan változó valamennyi fizikai jellemzőjét (sugár, tágulási sebesség, hőmérséklet stb.) ki lehet fejezni a határciklus amplitúdóját tartalmazó Fourier-sorral.

A pulzációs instabilitási sávba eső csillagokban tetszőlegesen kicsiny perturbáció véges amplitúdójú oszcillációvá tud kifejlődni, s a rezgési állapot fenn is marad, mert az a réteg, amelynek opacitása összehúzódáskor nő, minden ciklusban képes a disszipálódott mechanikai energia pótlására. Ilyen réteg egyébként több is lehet, a legényegesebb a részben ionizált hidrogén és a He^+ részben ionizált tartománya.

A pulzáció további elvi tárgyalása helyett nézzünk egy példát arra vonatkozóan, hogy maga a csillagpulzáció hogyan teszi lehetővé a csillag fizikai tulajdonságainak meghatározását a megfigyelésekből. A cefeidák esetében a tömeg az az állapotjelző,

amely különböző módokon – összesen hatféleképpen – határozható meg. Vegyük sorra ezeket a módszereket!

– *Csillagfejlődési tömeg.* A periódus – abszolút fényesség összefüggés alapján megkapható a cefeida L luminozitása, a megfigyelt $B - V$ színindex alapján pedig a T_{eff} effektív hőmérséklet. E két mennyiség már elegendő a cefeida helyének a HRD-n való kijelöléséhez. A csillagfejlődési modellekből viszont meghatározható, hogy a cefeida állapot elérésekor milyen tömegű csillag kerül az adott pontba.

– *Pulzációs tömeg.* Az oszcillációs periódus és az átlagsűrűség közötti összefüggésben (l. az 1. fejezetet) a Q pulzációs állandó nem egészen konstans, hanem enyhén függ a csillag szerkezetétől. A mérhető pulzációs periódusból és a csillagmodellből kapott Q alapján kiszámítható a csillag átlagsűrűsége:

$$\bar{\rho} = M \left(\frac{4\pi}{3} R^3 \right)^{-1} .$$

Az előző módszernél leírtaknak megfelelően meghatározható a cefeida luminozitása és effektív hőmérséklete. A luminozitás

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$$

definíciójából pedig kiszámítható a csillag sugara, az átlagsűrűség és a rádiusz pedig már megszabja a tömeget.

– *Baade–Wesselink-tömeg.* E módszer keretében a csillag sugarának meghatározása a v tágulási sebesség megfigyelt változása alapján történik.

$$\Delta R = R(\phi_2) - R(\phi_1) = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt .$$

ahol ϕ_i a t_i időpontnak megfelelő fázis. A színképvonalakból a csillagkorong integrált radiális sebességét lehet csak meghatározni, ami kisebb a csillagkorong középpontjának látóirányú sebességénél (ez utóbbi felel meg a tágulási sebességnek). A v és v_{rad} közötti projekciós faktor modellfüggő (pl. a csillagkorong szélsőtétedése miatt), és ennél a tömegmeghatározási módnál ez a legfőbb hibaforrás. A sugár ismeretében a tömeg meghatározása ismét a pulzációs periódus és az átlagsűrűség közti összefüggés alapján történik.

– *Púp-tömeg.* A fénygörbe vagy a radiális sebesség fázisgörbéje a hat napnál hosszabb periódusokra egyre korábbi fázisoknál jelentkező púpot mutat a periódus növekvő értékeire. Ugyanez a púp az elméleti modellekben szintén megjelenik a fázisgörbéken, mégpedig a számítás során használt csillagtömegtől függő fázisnál. A púp fázisa alapján tehát meghatározható a cefeida tömege.

– *Beat-tömeg.* Az egyidejűleg két módusban pulzáló csillagokra alkalmazható tömegmeghatározási módszer. A módusok frekvenciájának aránya a csillag radiális irányú sűrűségeloszlásától függ, amit viszont a csillag össztömege szab meg.

– *Dinamikai tömeg.* Kettőscsillagok esetében alkalmazható módszer, ugyanis az egyik komponens tömegének ismeretében a másik csillag tömege kiszámítható a pálya menti sebességek alapján:

$$M_1/M_2 = v_2/v_1 \quad .$$

Az optikai színeképtartományban ugyan a szuperóriás cefeida legfeljebb egyvonalú spektroszkópiai kettős lehet, mivel a kísérő csillaga annyival kisebb luminozitású, de az IUE-vel készített ultraibolya színeképek alapján több rendszernél is eredménnyel járt a kék kísérő orbitális sebességének meghatározása a pálya menti mozgástól származó vonaleltolódásból.

Ezen felsorolás után a terjedelmi korlát miatt eltekintek a különféle módszerekkel kapott tömegértékek összehasonlításának tapasztalataival és következményeivel foglalkozó ismertetéstől (a helyzetről némi áttekintést ad a 2.3.6 fejezet). A tömegmeghatározási módszerek bemutatásával csupán azt kívántam hangsúlyozni, hogy a cefeidák pulzációja milyen gazdag információs forrás az asztrofizika számára.

Az egyre pontosabb tömeg- és távolságmeghatározás révén (a luminozitás/tömeg hányados alapján) pedig a közeljövőben egyebek között a konvektív túllövés és keveredés szerepe is megbízhatóan tanulmányozhatóvá válik.

A csillagfejlődési modellek szempontjából fontos a cefeida-állapotot megelőző tömegvesztés mértékének ismerete. Az IRAS mesterséges hold által végzett megfigyelések közzététele (*Beichman* és mtársai 1985) után *Deasy* és *Butler* (1986), valamint *McAlary* és *Welch* (1986) a cefeidák infravörös fluxusai alapján megállapították, hogy a cefeidák jelentős tömegvesztést szenvedtek, mielőtt az instabilitási sávba jutottak. Ez a tény egyébként a cefeidák fejlődési és pulzációs tömege közötti különbség magyarázatául is szolgál.

A pulzáció maga is elősegíti a tömegvesztést (*Willson* és *Bowen* 1984). Ugyanis a pulzáció megnöveli a csillaglégkörben a skálamagasságot, így nagy mennyiségű anyag jut el olyan magasságba, ahonnan az anyag már más folyamatok hatására képes elszökni a csillagtól.

A tömegmeghatározási módszerek felsorolásánál az is kiderült (bár ott erre külön nem utaltam), hogy a cefeidák sugarának értékét szintén többféle módszerrel lehet megállapítani. A cefeidák radiális sebességét általában azért mérik, hogy (közel egyidejű fotometriai méréseket is igénybe véve) a Baade–Wesselink-módszer valamelyik változatával a csillag sugarát és annak ismeretében luminozitását és távolságát meghatározzák. Ilyen szempontból szinte nincs is a szakirodalomban publikált, de még ki nem aknázott radiálissebesség-mérés. Ezért nem is foglalkoztam a cefeidák sugarának meghatározásával.

Viszont a sebességadatoknál is igyekeztem megkeresni, hogy mi az a szempont, amit a korábbi kutatások nem vettek tekintetbe – ami egyrészt önmagában új eredményre vezet, másrészt hozzájárulhat a cefeidák sugarának és tömegének pontosabb meghatározásához. Az évek során kiderült, hogy a cefeidák kettőssége az a téma, amiben lényeges előrehaladás érhető el, mert az újabb észleléseket publikáló

kutatók többsége nem vette a fáradságot, hogy megvizsgálja a pulzációs ciklusra átlagolt radiális sebesség időbeli változását – ami a spektroszkópiai kettősség csalahatatlan jele (l. pl. *Szabados* 1992a,d, 1996).

A kísérő jelenléte ugyanakkor megnöveli a cefeidáról kapható információ mennyiségét (közismert a kettőscsillagok asztrofizikában betöltött szerepe), bár arra utaló jelek is vannak, hogy a cefeida társcsillaga – jelenleg még nem megmagyarázott mechanizmus révén – befolyásolja a főkomponens pulzációját. A pulzációs periódusra gyakorolt hatás mellett (l. az 5.4 fejezetet) ilyen effektus a fénygörbe alakjának megváltozása is az SU Cygni esetében (*Szabados* 1977, 1991, 1994). Sőt, az sem zárható ki, hogy az Y Ophiuchi és az α Ursae Majoris esetében megfigyelt szekuláris amplitúdócsökkenés (l. a 2.3.1 fejezetet) is éppen a kísérő csillag hatásának tudható be, mivel mindkét cefeida kettős rendszerbe tartozik, és ugyancsak mindkettő a HRD instabilitási sávjának belsejében helyezkedik el, ahol nincs kézenfekvő ok a pulzáció csillapodására.

A kettősség vizsgálata más típusú változócsillagoknál is fontos, sőt, vannak olyan típusok, amelyeknél a megfigyelhető változás éppenséggel a kísérő jelenlétének következménye (l. *Szabados* 1982b áttekintő cikkét). A cefeidáknál azért lényeges a kísérő kimutatása, mert e szabályosan pulzáló változócsillag-típus esetében szinte minden állapotjelző (tömeg, sugár, luminozítás, színindex, hogy csak a lényegesebbeket említsem) értékét befolyásolja, hogy a kísérő hatását figyelembe vették-e, avagy nem. A cefeidák kettősségének kimutatására szolgáló eddigi módszerekről jó összefoglalást ad *McDonald* (1996). A dolgozatban ismertető eredmények elérése érdekében én is ugyanezeket a spektroszkópiai módszereket alkalmaztam (l. az 5. fejezetet), de ami a fotometriai módszereket illeti, a közismert módszereken túl az eddiginél megbízhatóbb új módszert dolgoztam ki a cefeida kísérő csillagának kimutatására (l. a 4.-5. fejezeteket).

3.2 A fázisgörbék Fourier-felbontása és az s-cefeidák

A pulzáló csillagok fényességének és radiális sebességének változását reprezentáló fázisgörbék tanulmányozására a nyolcvanas évek eleje óta egyre jobban terjed a Fourier-felbontás módszere. Ezen eljárás alkalmazásakor a megfigyelési adatokból álló idősort Fourier-sorral közelítik (*Simon és Lee* 1981). Például a V-sávban kapott magnitúdókra:

$$V(t) = A_0 + \sum_{j=1}^{j_{max}} A_j \cos(j\omega(t - t_0) + \phi_j) \quad .$$

Az illesztés során kapott amplitúdókból és fázisokból alkalmas módon képzett paraméterekkel a fázisgörbe alakját numerikusan is lehet jellemezni. A Fourier-együtthatók alább definiált kombinációinak használata terjedt el:

- az $R_{j1} = A_j/A_1$ amplitúdóarányé, valamint
- a $\phi_{j1} = \phi_j - j\phi_1$ fáziskülönbségé.

A fáziskülönbséget úgy definiálták, hogy a ϕ_{j1} invariáns legyen az időskála kezdőpontjára nézve.

A cefeidák esetében az R_{j1} és ϕ_{j1} paraméterek jellegzetes periódusfüggést mutatnak, amely egyebek között a fázisgörbén megjelenő púpra vonatkozó Hertzsprung-haladványt is jól visszatükrözi. Az R_{j1} amplitúdóarány pedig önmagában a fázisgörbe aszimmetriáját jellemzi.

A Fourier-paraméterek értéke a klasszikus cefeidák esetében többnyire enyhén változik a pulzációs periódussal. A tíz nap körüli periódusnál azonban erős változás figyelhető meg, ami az alaprezgés és a második felhang periódusa közötti $P_2/P_0 = 0,5$ rezonanciának felel meg (*Simon és Schmidt 1976*).

Ugyancsak lényeges, hogy a kis amplitúdójú cefeidák, amelyeknek fázisgörbéje 2–3 napos pulzációs periódusnál majdnem teljesen szinuszos, Fourier-paramétereiket tekintve többnyire jól elkülönülnek a normális amplitúdójú cefeidáktól. A kis amplitúdójú cefeidákra a szakirodalomban s-cefeidaként hivatkoznak – az s rövidítés egyaránt kezdőbetűje az amplitúdó mértékére utaló „small”-nak és a görbe alakjára utaló „sinusoidal”-nak.

Régóta gyanítják, hogy az s-cefeidák az első felhangban pulzáló csillagoknak felelnek meg. A MACHO-, ill. az EROS-projekt keretében a Magellán-felhő cefeidáit vizsgálva ez be is igazolódott (*Welch és társai 1996, Beaulieu és társai 1995*).

A helyzet azonban nem egyszerű, mert vannak olyan periódusértékek, amelyeknél az s-cefeidák nem választhatók szét egyértelműen a közönséges cefeidáktól (*Poretti 1994*). *Simon* (1990) azt is kétségbe vonja, hogy a galaktikus s-cefeidák mindegyike az első felhangban pulzál. Az ő nézetét látszik alátámasztani *Bersier és Burki* (1996) vizsgálata is. E két utóbbi szerző ugyanis a cefeidák színképvonalainak szélességéből a csillaglégkörben uralkodó turbulenciát határozta meg. A sebesség-amplitúdó függvényében ábrázolva a turbulencia mértékét az s-cefeidák többsége ugyan jól elválik a normális amplitúdójú cefeidáktól, vannak azonban olyan cefeidák is, amelyek nem a számukra megfelelő helyen találhatók ezen a diagramon, vagyis nem az amplitúdójuk alapján várt módusban pulzálnak. A dolgozat 4.2 fejezetében további érveléssel támasztom alá, hogy az amplitúdó szerinti móduselkülönülés nem teljesül valamennyi tejútrendszerbeli cefeidára.

A kétmódusú cefeidák esetében én is a fényességadatok és a radiális sebességadatok Fourier-felbontásával határoztam meg az amplitúdókat (l. a 4.3 fejezetet). Az egyperiódusos cefeidák amplitúdóinak vizsgálatánál a Fourier-módszer csak az általam használt eljárás megbízhatóságának ellenőrzésére szolgált. A Fourier-felbontás ez esetben ugyanis két tényező miatt sem előnyösebb:

- A vizsgált adatok nagyobb része nem volt gépi adatfeldolgozásra előkészítve;
- Észleléstechnikai okok miatt a cefeidák fázisgörbéje gyakran nincs minden fázisnál kellőképpen lefedve, emiatt a Fourier-felbontás során kapott amplitúdók értéke attól is függ, hogy hány harmonikussal történik az illesztés (l. pl. *van Genderen 1974* ezzel kapcsolatos észrevételeit).

A harmonikusok számának önkényes megállapítása egyébként azzal jár, hogy a ce-
feidák esetében a Fourier-módszer alkalmazása sem küszöböl ki minden szubjektív
tényezőt, ellentétben a „jól átészlelt” rövidebb periódusú pulzáló változókkal.

4. Eredmények a pulzációs amplitúdó vizsgálata alapján

4.1 Az amplitúdók periódusfüggése

A cefeidák pulzációjának szabályossága következtében a fényességváltozásból meghatározható számos paraméter a pulzációs periódus függvénye. A fénygörbéből (a periódust ismertnek feltételezve) a legegyszerűbben meghatározható mennyiség a fényváltozás amplitúdója. A periódus és az amplitúdó közötti kapcsolatot több korábbi tanulmány is alaposan vizsgálta (hogyan csak a fontosabbakat említsem: *Efremov* 1968, *van Genderen* 1974, *Eichendorf és Reinhardt* 1977, *Fernie és Chan* 1986), de elsősorban a tejútrendszerbeli és az extragalaktikus cefeidák közötti eltérések megállapítására. A radiális sebesség változásának amplitúdójával kapcsolatban azonban a periódusfüggés részletes vizsgálatát mindeddig nem végezték el, az eddigi legrészletesebb – már a Fourier-paraméterek alapján történt – vizsgálat (*Kovács és mtársai* 1990) 57 cefeidát tudott csak bevonni az elemzésbe.

Az elmúlt másfél évtizedben a Fourier-felbontás egyre kiterjedtebb alkalmazása révén az amplitúdó helyett az egyes harmonikus komponensek nagyságára és egymáshoz viszonyított fáziskülönbségére jellemző paraméterek meghatározása terjedt el (l. a 3.2 fejezetet, ill. *Simon* (1990) áttekintő cikkét és az abban szereplő hivatkozásokat). A fénygörbe alakjának számszerű módon történő leírása azonban nem tette feleslegessé a teljes amplitúdó tanulmányozását.

A teljes amplitúdó meghatározásánál az új, eddig figyelmen kívül hagyott vizsgálati szempont a cefeida esetleges kísérő csillagának hatása. Ha A a változás amplitúdója normális (azaz kísérő nélküli) esetben, A^* pedig a kísérő jelenléte által módosított érték, akkor definíció szerint:

$$A = m_{\min} - m_{\max} = -2,5 \times \log(I_{\min}/I_{\max})$$
$$A^* = m_{\min}^* - m_{\max}^* = -2,5 \times \log[(I_{\min} + I_k)/(I_{\max} + I_k)]$$

ahol I_k a kísérő csillag intenzitása a vizsgált hullámhosszon. Ezen összefüggésekből nyilvánvaló, hogy minél fényesebb a kísérő, annál jobban lecsökken a mérhető fényességváltozási amplitúdó.

Itt helyénvaló annak leszögezése, hogy a harmonikus rezgőmozgás leírásánál megszokottól eltérően a továbbiakban (egyben a változócsillagászati konvenciónak megfelelően) amplitúdó alatt a fényesség (radiális sebesség vagy a csillag változására jellemző bármely más fizikai mennyiség) maximális és a minimális értéke közötti különbséget értjük.

Az amplitúdók tanulmányozásához a szakirodalomban található valamennyi fotometriai és radiálissebesség-mérést igyekeztem felkutatni. A fotometriai adatok homogenitásának biztosítása érdekében az UBVR-rendszerben mért adatokat vettem csupán figyelembe (a Johnson-, ill. Kron–Cousins-féle R-magnitúdók közti különbségről l. a 4.4 és 4.5 ábra kapcsán). A radiális sebességek tekintetében célszerűtlen lett volna a homogenításra való törekvés. Az adatok zömét ugyan a CORAVEL-típusú mérések jelentik, a radiális sebesség változásának amplitúdója

így is kevésbé pontosan határozható meg, mint a fényváltozásé.

A vizsgálatba végül is azok a cefeidák kerültek be, amelyekről volt megbízható (a fényváltozás teljes ciklusát lefedő) fénygörbe az U, B, V és R sávokban, vagy legalább a B-fényesség és a radiális sebesség változásának amplitúdóját meg lehetett határozni. Összesen 290 galaktikus cefeida felelt meg ezeknek a követelményeknek, valamint a Magellán-felhőkben ismertté vált spektroszkópai kísérővel rendelkező három cefeidát is bevontam a vizsgálatba.

Az amplitúdókra vonatkozó adatokat a Függelékben közölt I. táblázat tartalmazza. Az e fejezetben bemutatott ábrák is ezen adatok alapján készültek (azokon azonban a Magellán-felhőkben levő cefeidák nincsenek feltüntetve). A minta így kb. a tíz magnitúdós közepes V-fényességig valamennyi ismert galaktikus cefeidát tartalmazza, az egyetlen ennél fényesebb kivétel a Polaris, amelynek pulzációs amplitúdója az utóbbi években szinte nullára csökkent (l. a 2.3 és 3.1 fejezetet).

Az amplitúdók meghatározása a pulzációs periódus pontos értékével felrajzolt fázisgörbék alapján történt. Minthogy az adatok nagyobb része nem volt elektronikusan hozzáférhető, és azok számítógépes feldolgozásra való előkészítése kutatási segéderő híján nem volt megoldható, a fázisgörbékről az amplitúdót az O–C-diagramok elkészítése során is már jól bevált és pontosnak bizonyult módszerrel, a normálgörbe szemmel történő illesztésével határoztam meg. A módszer pontosságának ellenőrzése céljából az elektronikusan is elérhető adatok egy részét Fourier-analízisnek vettem alá, és azzal a módszerrel is meghatároztam a fényváltozás teljes amplitúdóját. Az eredmény megfelelt a várakozásnak: a numerikus és vizuális módszerrel meghatározott amplitúdók között csak elvétve volt 0,01 magnitúdót meghaladó eltérés. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a szemmel történő fénygörbeillesztés során az amplitúdó meghatározásának pontossága (néhány halványabb cefeidától eltekintve) ugyancsak 0,01 magnitúdó, a módszer megbízhatóságához nem fér kétség, ugyanakkor újabb példát jelent az emberi szem információintegráló képességére.

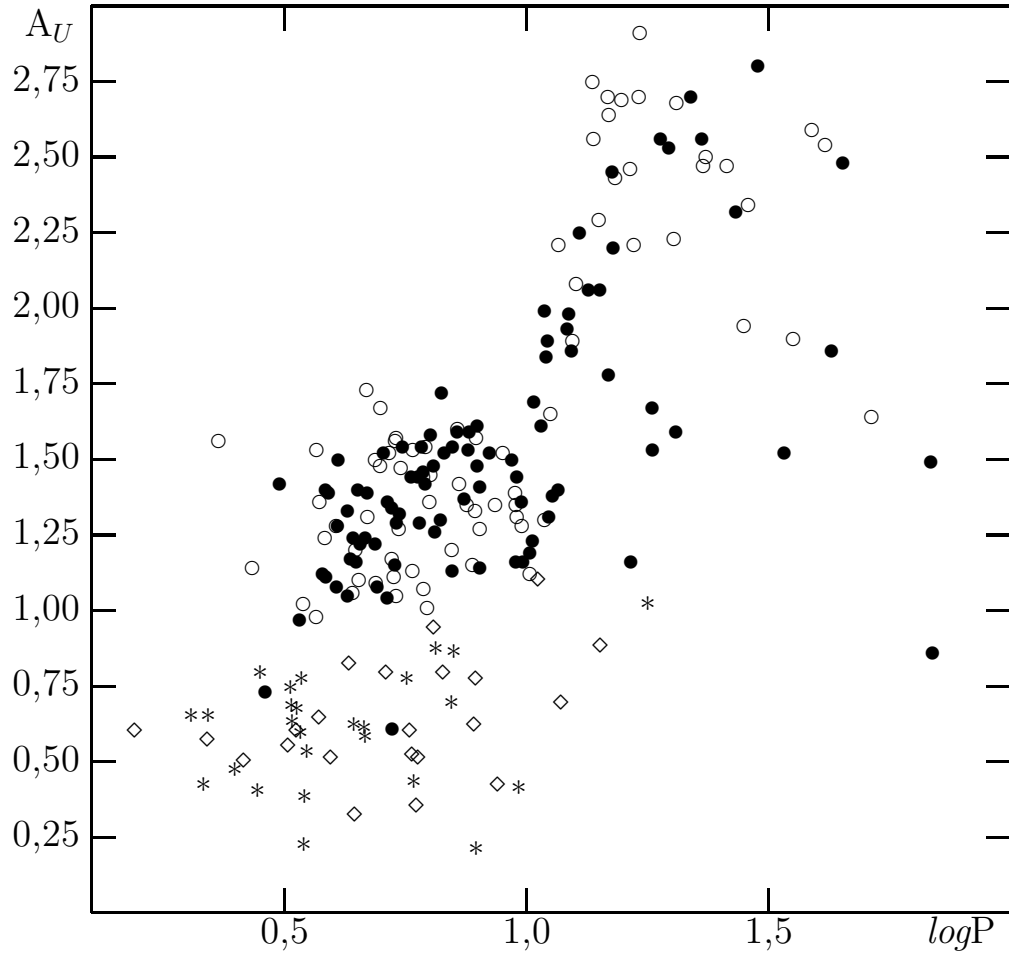
Az U, B, V és R fotometriai sávokban mért amplitúdók periódusfüggése a 4.1–4.4 ábrákon követhető nyomon. Az ábrákon eltérő karakterek jelölik a kettős rendszerbe tartozó cefeidákat, illetve a kis amplitúdójú cefeidákat.

Az R-amplitúdók ábrázolásánál nem tettem különbséget a Johnson- és a Kron–Cousins rendszerbeli értékek között a 4.4 ábrán, de az alább bevezetendő amplitúdó-iránytangens kiszámításánál már figyelembe vettem az R_J és R_C amplitúdók eltérő voltát. A Johnson-rendszerben ugyanis az R-sáv effektív hullámhossza 680,8 nm, míg a Kron–Cousins-rendszerben 645,7 nm. A cefeidák fényváltozási amplitúdója pedig a hullámhosszal csökken (l. a 4.2 fejezetet). A kétféle R-sávban emiatt ugyanaz a csillag egymástól eltérő amplitúdóval pulzál, de a kétféle amplitúdó között pontosan kalibrálható összefüggés áll fenn:

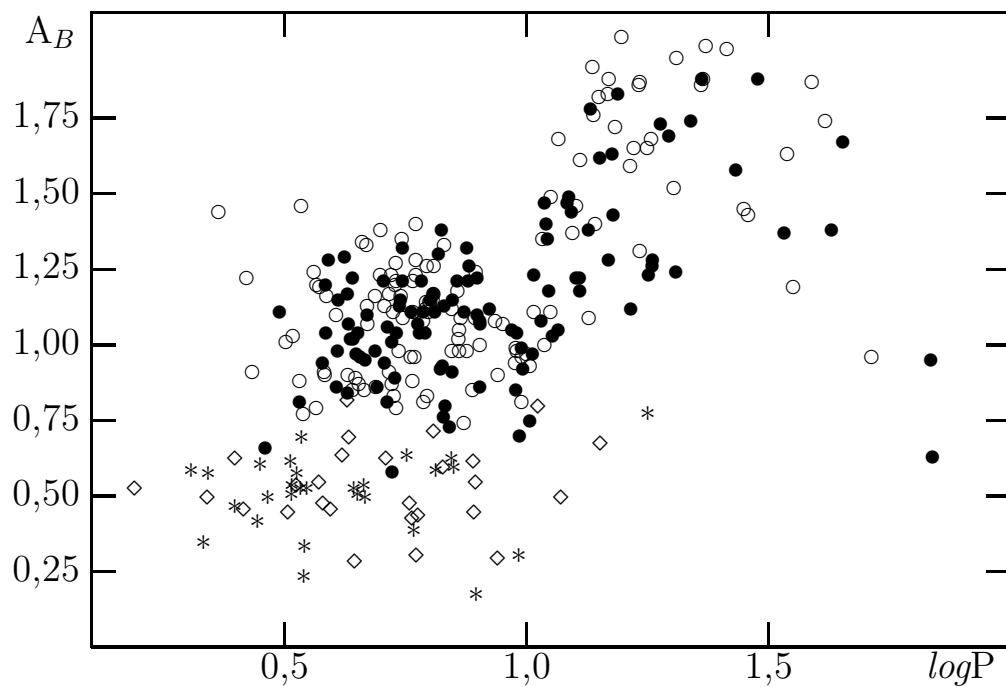
$$A_{R_J} = 0,910 \times A_{R_C} - 0,006 \\ \pm 0,025 \quad \pm 0,014$$

Ezt a relációt 15 olyan cefeida alapján határoztam meg, amelyről mindkét R-sávban

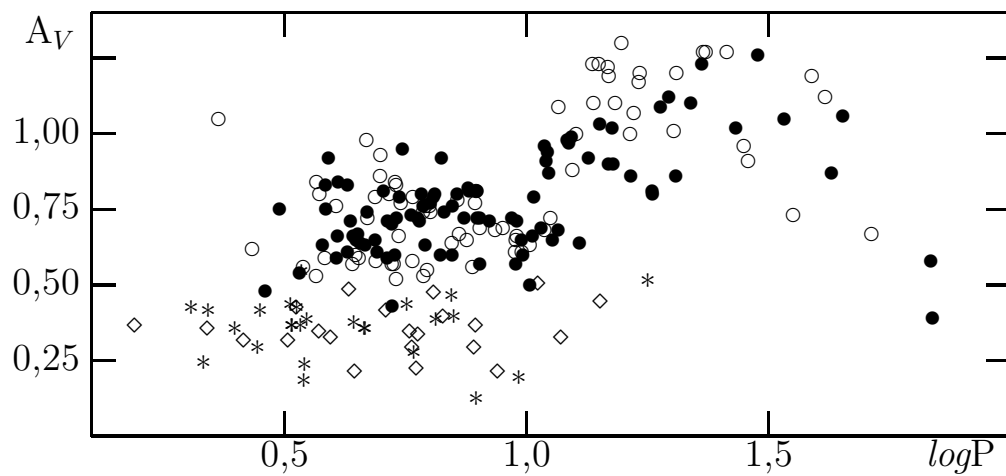
pontos fénygörbe áll rendelkezésre (l. a 4.5 ábrát).



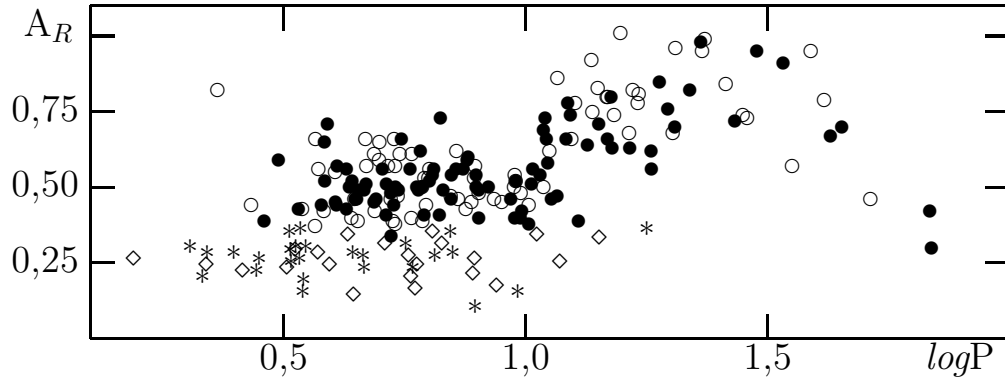
4.1 ábra. A cefeidák U-sávban mért amplitúdójának periódusfüggése. A $\log P$ függvényében készített ábrákon (4.1–4.4, 4.6, 4.7, 4.9 ábrák) \circ jelöli a normális amplitúdójú, kísérő nélküli cefeidákat, \bullet pedig a kettős rendszerbe tartozókat, a kis amplitúdójú s-cefidák közül pedig \diamond jelöli a kísérő nélkülieket, $*$ a kettős rendszerbe tartozókat.



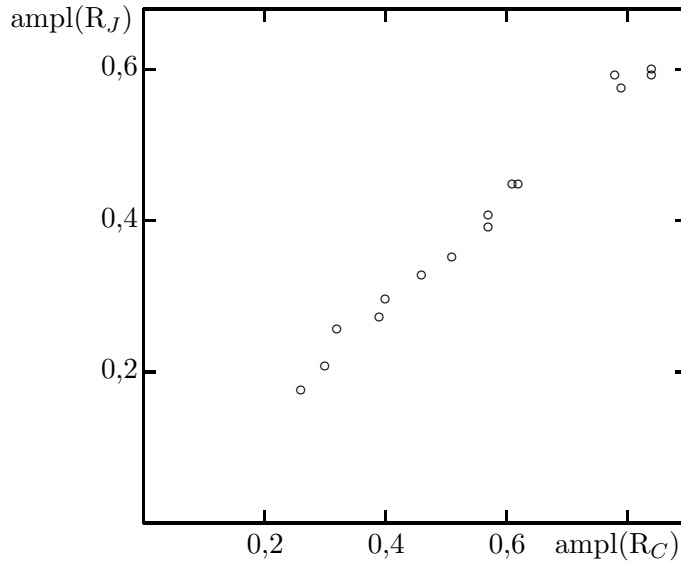
4.2 ábra. A fotometriai B-amplitúdó periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan l. a 4.1 ábra aláírását.



4.3 ábra. A fotometriai V-amplitúdó periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan l. a 4.1 ábra aláírását.



4.4 ábra. A fotometriai R-amplitúdó periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan l. a 4.1 ábra aláírását. Az ábrán a Johnson- és a Kron–Cousins-rendszerben mért adatok között nincs különbség téve (részletesen l. a szövegben).



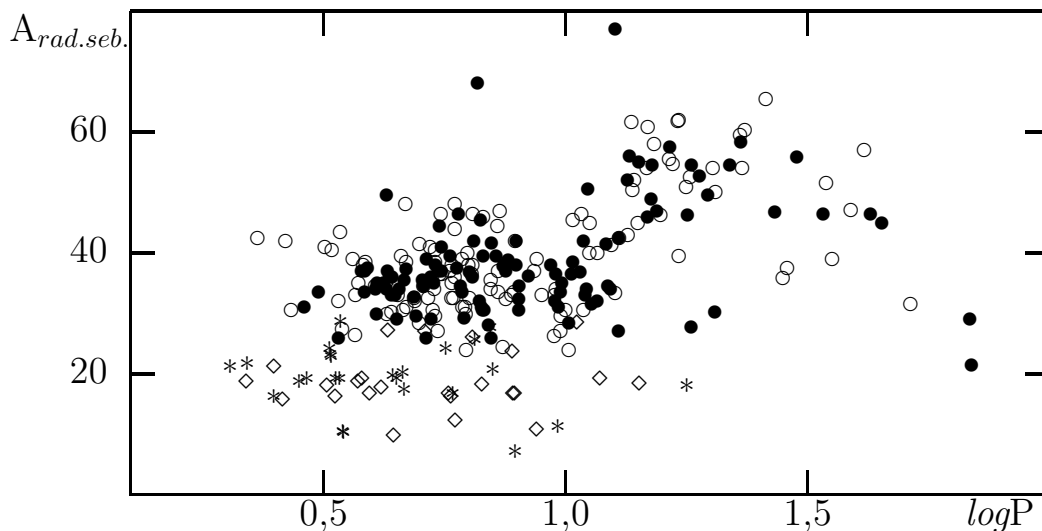
4.5 ábra. A Johnson- és a Kron–Cousins-rendszerben mért R-adatokból kapott amplitúdók egymásba transzformálhatóságát mutatja a szoros korreláció.

Az újabb kettősségi indikátorok bevezetése előtt érdemes néhány általános megjegyzést tenni az amplitúdók periódusfüggésével kapcsolatban. Korábbról már ismert volt, hogy a 10–11 napos pulzációs periódus egyfajta határ a cefeidák viselkedésében. E dichotómiára még nem született kielégítő magyarázat, de a jelenség valamennyi, a periódus függvényében ábrázolt cefeida-paraméter viselkedésében megfigyelhető.

A fényváltozási amplitúdót tekintve jól kirajzolódik, hogy minden periódushoz egy maximális amplitúdó tartozik. Ezt a viselkedést *Eichendorf* és *Reinhardt* (1977) matematikai módszerrel próbálták meg leírni, amikor felső burkolót rendeltek hozzá az amplitúdógráfokhoz. Kivételesen azonban előfordulnak a felső burkoló fölé eső

pontok is, jelen esetben a BB Gem, a BW Gem és az FT Mon B-amplitúdója jócskán meghaladja a pulzációs periódusuknak megfelelő legnagyobb értéket. Egyéb pekuliaritást e három csillag egyikénél sem tapasztaltak. Érdekes viszont, hogy mindhárom cefeida viszonylag rövid periódusú, és a Magellán-felhőkben található ilyen rövid periódusú cefeidák gyakran pulzálnak ilyen nagy amplitúdóval. Ez arra utal, hogy a csillag fémtartalma a pulzációs amplitúdót szabályozó egyik lényeges mennyiség lehet. Sajnos halványosságuk folytán a BB Gem, BW Gem és FT Mon egyikéről sincs a nehézelem-gyakoriság meghatározását lehetővé tevő spektroszkópai analízis.

A fejezet elején leírtaknak megfelelően azt várjuk, hogy a maximális amplitúdót elérő cefeidák magányos csillagok, mivel a kísérő csillagok luminozitásuktól és színüktől függően lecsökkentik a megfigyelhető fényváltozási amplitúdót. A hosszú periódusú cefeidákra ez az effektus jól ki is rajzolódik (l. a 4.1–4.4 ábrákat). Az az ideális eset viszont egyáltalán nem valósul meg, hogy a lehetséges maximális amplitúdóértékhez képest mérhető csökkenés kizárólag a kettősség számlájára írható. Ezt a látóirányú sebesség változási amplitúdójának a periódus függvényében való eloszlása is alátámasztja (4.6 ábra). Ez utóbbi gráf igen hasonló a fotometriai amplitúdók periódusfüggéséhez. Tehát nem arról van szó, hogy létezik egy tipikus, a felső burkolóhoz közeli amplitúdóérték, ami a normális pulzációnak felelne meg. A radiális sebesség változásának amplitúdója ugyanis a képzeletbeli felső burkoló által megszabott értéknek akár a fele is lehet, pedig a kísérő csillag a radiális sebesség változásának mérhető amplitúdóját nem csökkenti le. (Az s-cefeidák itt még feltűnőbben elválnak, mint a fénygörbe amplitúdóit ábrázoló gráfoknál, s ez is arra utal, hogy a sugárváltozással közvetlen kapcsolatban levő radiálissebesség-amplitúdó a pulzációt jellemző egyik alapvető mennyiség).



4.6 ábra. A radiális sebesség amplitúdójának periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan

l. a 4.1 ábra aláírását.

A radiális sebesség változási amplitúdóját a kísérő csillag nemhogy nem csökkenti le, hanem a fel nem ismert kettősség esetén a pálya menti mozgás miatt a radiális sebesség változásának amplitúdója a pulzációs effektusra rakódva szokatlanul nagy is lehet. A sebességváltozási amplitúdók meghatározásának hibája viszont meghaladja a fotometriai amplitúdókét (l. az I. táblázatot a Függelékben), emiatt az azokból levont következtetések némelyikét pontosabb radiálissebesség-mérésekkel meg kell erősíteni.

Külön vizsgálatra érdemes kérdés a radiális sebesség és a fényesség változási amplitúdóinak aránya. Erre vonatkozóan csak elvétve találhatók hidrodinamikai modellszámítások a szakirodalomban. Az általam fellelt legalaposabb számítás (*Karp* 1975) szerint az A_{VRAD}/A_B amplitúdóarány (amire a továbbiakban AA rövidítéssel hivatkozom) értéke 27,4 [km/s/mag] egy 12 napos pulzációs periódussal számolt modell-cefeidára. Ugyanakkor a megfigyelési adatok alapján *Allen* (1973) kézikönyve AA = 35 értéket közöl, míg 48 cefeida alapján a *Coulson* és *Caldwell* (1989) cikkében szereplő számokból AA = 30,0 érték határozható meg.

A megfelelő modellek hiánya és a megfigyelési adatok nem elég alapos vizsgálata következtében ezt az amplitúdóarányt egy később említendő kivételtől eltekintve úgy kezelte eddig a szakirodalom, mint a cefeidák pulzációjára jellemző általános értéket. Ennyi megfigyelési adat birtokában kézenfekvő volt az amplitúdóarány alaposabb vizsgálata.

4.2 Az amplitúdók arányának vizsgálata

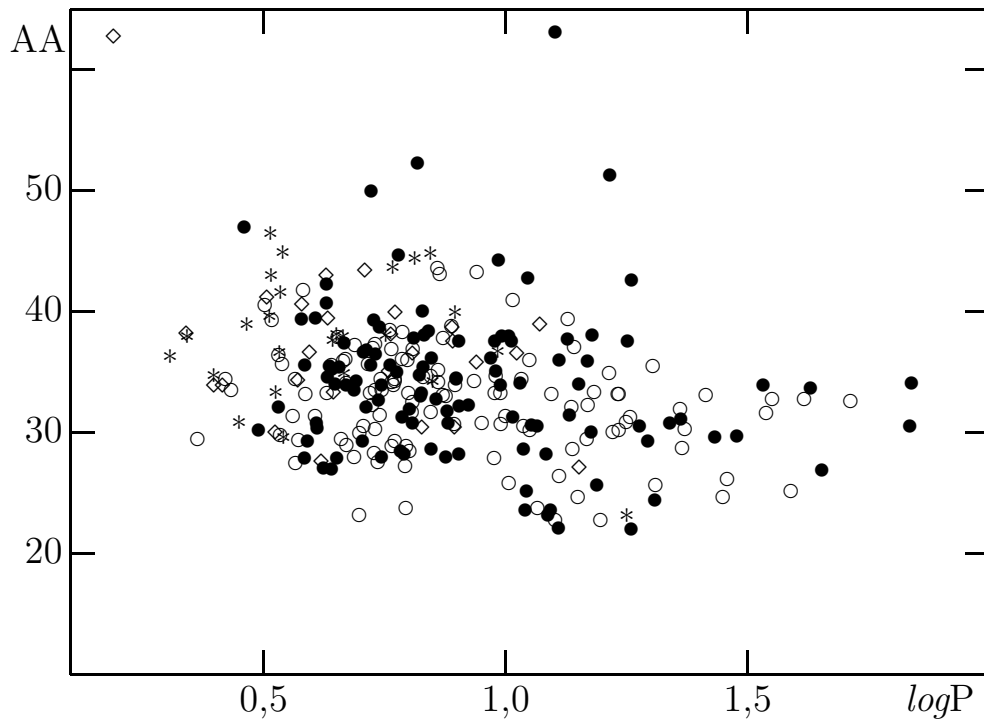
Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a cefeida kísérő csillagának fotometriai hatása megnöveli az AA értékét. Ha a cefeidák tényleg egyetlen AA-értékkel lennének jellemezhetők, akkor pusztán az attól való eltérés (a nagyobb érték felé) már utalhatna a kettősségre. A vizsgált minta alapján meghatározott közel 300 AA-érték viszont világosan mutatja (4.7 ábra), hogy a helyzet nem ennyire egyszerű.

Az AA periódusfüggését vizsgálva a következő megállapítások tehetők:

- A periódus bármely értékére az AA egy viszonylag széles intervallumon belül eső értéket vehet fel. A magányos cefeidák alapján ezen intervallum szélessége 10–15 km/s/magnitúdó.
- Az AA átlagos értéke a pulzációs periódus függvénye: hosszabb periódus esetén alacsonyabb az AA. Az ábra alapján és elméleti modellek híján azt nem lehet eldönteni, hogy ez a periódusfüggés folyamatos csökkenés-e vagy ugrásszerű változás következik be 10–11 napos periódusnál, bár az ábra ez utóbbit sugallja.

A kettősség AA-növelő hatása csak tendencijelleggel érvényesül (l. 4.1 táblázat). A kettősök és nem-kettősök átlagos AA-értékei között egyik periódustartományban sincs szignifikáns eltérés, ami részben az AA-értékek korlátozott pontosságával, részben a nem-kettősök között megbúvó, valójában még fel nem ismert kettős rendszerbe tartozó cefeidákkal magyarázható. Feltűnő továbbá az is, hogy a minden kétséget kizáróan kettős rendszerhez tartozó cefeidák némelyike (pl. YZ Car, XX Cen) kirívóan alacsony AA-értékkel jellemezhető. (A radiális sebesség

változási amplitúdóját szintén összehasonlítottam a Fourier-felbontással kapott amplitúdóértékekkel – az irodalomban pl. *Bersier* és munkatársai (1994) közölnek pontos amplitúdóadatokat –, és csak azoknál a cefeidáknál (VZ Cyg, U Vul) tapasztaltam szignifikáns eltérést, amelyekről az ő munkájukat követően derült ki, hogy kettős rendszerbe tartoznak).



4.7 ábra. Az amplitúdóarány periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan l. a 4.1 ábra aláírását.

Ugyanakkor a spektroszkópiai kettősként ismert cefeidák közül igen soknak feltűnően magas az AA-értéke (pl. YZ Aur, RW Cam, DL Cas, AX Cir, DX Gem, S Mus, SV Per, AW Per).

Az amplitúdóarány azonban önmagában nem igazán megbízható kettősségi indikátor az előzőek alapján. A helyzetet tovább nehezíti, hogy az s-cefeidákat jellemző AA-érték szisztematikusan nagyobb a normális amplitúdójú cefeidákénál. Ennek oka pedig az AA pulzációs módustól való függésében keresendő. *Balona* és *Stobie* (1979a) ugyanis a kétmódusú cefeidák kapcsán már felfigyelt arra, hogy az első felhangra nagyobb az AA, mint az alaprezgésre. Lineáris pulzációs modelljükből ugyanők (1979b) azt az eredményt kapták, hogy:

$$A_{VRAD}/A_V = 4,097 \times R_0 / [P \times (f^2 + 4 \times f \times \cos \psi + 4)^{1/2}]$$

ahol R_0 az átlagsugár, ψ a legnagyobb fluxus és a maximális sugár közötti fáziskülönbség, f pedig a V-sávban mérhető fluxusváltozás és a sugárváltozás aránya.

Ezen összefüggésből az következik, hogy az első felhangban történő pulzációra jellemző AA a cefeidákra érvényes $P_1/P_0 = 0,7$ arány miatt kb. 1,4-szerese az alaprezgést végző cefeidák amplitúdóarányának. Ugyanakkor a 4.1 táblázat összefoglaló adatai szerint nincs ilyen nagy különbség a normális és a kis amplitúdójú cefeidák amplitúdóarányai között. Ez újabb evidencia lehet annak igazolására, hogy az s-cefeidák nem mind első felhangban pulzálnak (*Simon* 1990).

4.1 táblázat. AA-értékek a cefeidák különböző csoportjaira

csoport	kettősök	n	kísérő nélküliek	n
s-cefeidák	$37,5 \pm 5,4$	25	$35,1 \pm 4,0$	22
P<10 nap	$35,3 \pm 5,2$	78	$32,9 \pm 3,6$	74
P>10 nap	$32,7 \pm 7,8$	40	$30,8 \pm 4,4$	39

Mindazonáltal az AA függ a csillag sugarától, valamint az imént említett f és ψ mennyiségektől is, amelyek viszont csillagonként más és más értéket vehetnek fel. Kíváncsú lenne ezért részletesebb pulzációs modellek (modellcsaládok) kidolgozása, hogy akár a pulzációs módusra, akár a csillag kettősségére lehessen következtetni a megfigyelt amplitúdóarányból. Az AA magas értékéből így egyelőre csak két újabb cefeida kettősségét lehet biztosan állítani (l. az 5.5 fejezetet).

Ennél lényegesebb új eredmény, hogy a V473 Lyrae rendkívül magas AA-értéke (62,1) egyértelműen alátámasztja azt a korábbi sejtést (*Burki* és munkatársai 1986), hogy ez a különleges cefeida az elsónél magasabb módusban pulzál (miután semmilyen egyéb megfigyelés nem utal a csillag kettősségére). A V473 Lyrae esetében a változó amplitúdó miatt az I. táblázatban nem szerepel a radiális sebesség változásának amplitúdója. Az AA értékét *Burki* és mtársai (1982) CORAVEL-adatai alapján, a fotometriai amplitúdók interpolálásával határoztam meg (*Szabados* 1997b).

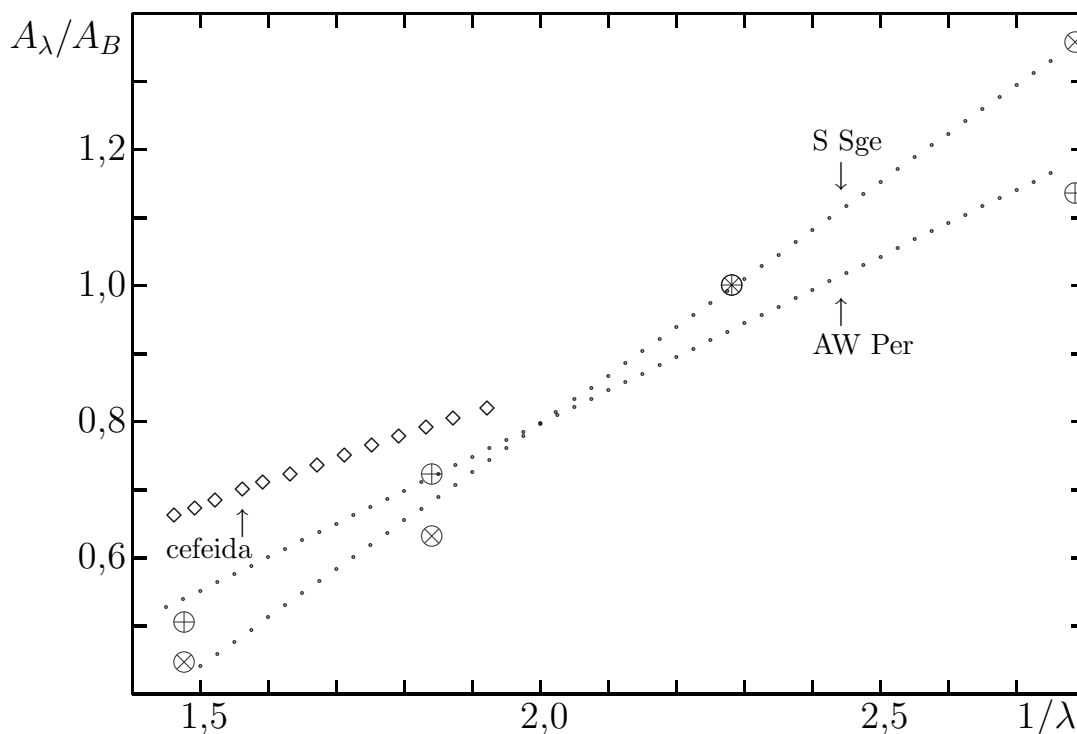
Az AA amplitúdóarány tehát hasznos információs forrás a cefeida pulzációs módusáról és/vagy kettősségéről, de diagnosztikai jellemzőként való alkalmazása csak a szükséges pulzációelméleti megalapozás után várható. Ezzel magyarázható az is, hogy az amplitúdóarányval kapcsolatban csak néhány kezdeti eredményt publikáltam (*Szabados* 1993c, 1997b).

Ennél sikerebben alkalmazható már jelenleg is az az általam bevezetett mennyiség, amely a fotometriai amplitúdók hullámhosszfüggéséből enged következtetni a kísérő léte. Megalkotásánál az a szándék vezérelt, hogy a különböző sávokban mérhető amplitúdók alapján egyetlen numerikus paraméterből lehessen következtetni a normális állapottól való eltérésre. A kísérőre annak fotometriai hatása alapján való következtetés korábbi legkifinomultabb módszere (*Madore* 1977) ugyanis a cefeida kétszíndiagramon leírt – többnyire meglehetősen nagy szórású – görbéjének deformációján alapult, és nem is volt kellőképpen kalibrálva, ezért az a módszer voltaképpen csak az extrém kék kísérők kimutatásánál vált be.

Az U, B és V fotometriai adatok mellett érdemes valahogy figyelembe venni az egyre nagyobb számban rendelkezésre álló R fotometriai adatokat, egyrészt

mivel ez utóbbiak pontossága meghaladja az U-sávban mért adatokét (főleg a cefeidák hőmérséklete által meghatározott spektrális energiaeloszlás következtében), másrészt ez a sáv már érzékeny az esetleges vörös kísérré.

Különbéle módon definiált paraméterekkel történt próbálkozás (l. pl. *Szabados* 1993c) után végül az alábbi definíció bizonyult a legcélszerűbbnek. A hullámhossz reciprokanak függvényében a B-sávban mért amplitúdóra normálva a cefeidák fényváltozási amplitúdója jó közelítéssel egy egyenes mentén fekszik az U, B, V és R sávokat tekintve. Ezt az $A_\lambda/A_B - 1/\lambda$ függvényt egyenessel közelítve, annak iránytangense a cefeidákat jól jellemző érték. *Matthews* (1996) publikálatlan számításai szerint a cefeidák nagyjából feketetestként sugároznak, és az általa vizsgált hullámhossz-tartományban az amplitúdók hullámszámtól való függése valóban lineáris (4.8 ábra; \diamond : modell-cefeida).



4.8 ábra. A cefeidák relatív (a B-sávban mérhető értékére normált) fotometriai amplitúdója a hullámszám függvényében. Hogy az egyenes meredekségére, az ún. amplitúdó-iránytangensre (AIT) könnyen kezelhető értéket kapjunk, a hullámhosszat a célszerűség okán μm -ben fejezzük ki. Részletesebb magyarázat a szövegben.

A 4.8 ábráról az is kitűnik, hogy a kék kísérő (az AW Persei társcsillaga B-színképtípusú) a várakozásnak megfelelően az egyenes iránytangensét csökkenti, míg a cefeidáénál alacsonyabb hőmérsékletű kísérő (az S Sagittae spektroszkópai kettős rendszerbe tartozik, de a kísérője a megfigyelések szerint nem lehet korai színképtípusú) növeli az egyenes meredekségét. Ily módon az amplitúdó-iránytényezőnek (AIT) a normálistól túlságosan eltérő értékéből következtetni lehet a cefeida kísérőjének létére, sőt annak színére is. Ennek természetesen az a feltétele, hogy az AIT valóban a cefeida-pulzáció jellemző értéke legyen. Mint az a 4.9 ábrán

látható, ez alapján véve teljesül az AA esetével ellentétben (l. a 4.9 ábrát). Itt fontos megemlíteni, hogy az AW Per és az S Sge pulzációs periódusa nem nagyon különbözik egymástól, így az eltérő AIT-értéket nem e paraméter periódusfüggése okozza.

Az AIT alapján kapott eredmények ismertetése előtt azonban még néhány általános megjegyzés ide kívánczik.

Minthogy a 4.8 ábrán bemutatott két konkrét eset a szélsőségeket reprezentálja (az AW Per kék kísérője csökkenti, az S Sge vörös kísérője növeli az AIT értékét), a „normális” AIT-értéknek e két iránytényező közé kell esnie. Az ábrából viszont kitűnik, hogy a modell-cefeida AIT-je még a kék kísérő által lefelé torzított értéknél is kisebb, tehát a modell nincs összhangban a megfigyelésekkel. Fontos lenne ezért a megfigyelt hullámhosszfüggésű amplitúdókat visszaadó modell kidolgozása.

Az AIT megfigyelésekből történő meghatározásánál, vagyis az egyenes illesztésekor figyelembe vettem, hogy más hullámhossz tartozik a Johnson-féle R-amplitúdóhoz, mint a Kron–Cousins-rendszerbelihez. Tizenhat cefeidáról mindkét fotometriai rendszerben elegendő megfigyelés volt ahhoz, hogy a két rendszer alapján meghatározott AIT-értékeket össze lehessen egymással hasonlítani (l. a 4.2 táblázatot). Ennek eredményeképpen beigazolódott, hogy nincs szisztematikus különbség (nem is lenne fizikai alapja) a kétféle fotometria alapján kapott AIT között. A 4.2 táblázatban szereplő csillagok alapján ugyanis

$$\text{AIT}_C = 0,979(\pm 0,011) \times \text{AIT}_J$$

összefüggés adódott. A II. táblázatban (l. a Függelék) ezekre a csillagokra csak a Johnson-rendszerbeli AIT szerepel, egyéb cefeidákra pedig az R-amplitúdó kurzív szedése jelzi, hogy az AIT meghatározása a Kron–Cousins-rendszer alapján történt.

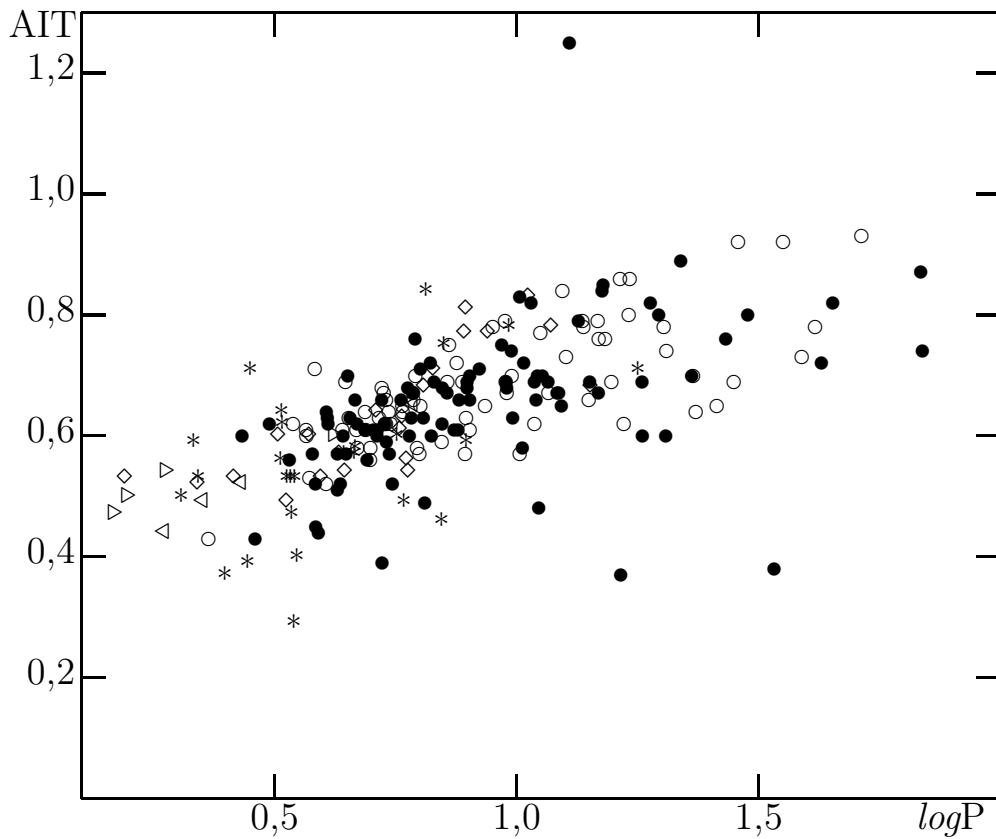
4.2 táblázat. AIT-értékek a két különböző fotometriai rendszer alapján

Cefeida	AIT _J	σ	AIT _C	σ
TT Aql	0,80	0,04	0,76	0,03
V496 Aql	0,78	0,06	0,69	0,08
Eta Aql	0,66	0,03	0,68	0,04
SS CMa	0,61	0,03	0,68	0,03
Zeta Gem	0,77	0,04	0,87	0,04
T Mon	0,78	0,05	0,74	0,03
SV Mon	0,76	0,03	0,77	0,03
Y Oph	0,69	0,04	0,72	0,06
BF Oph	0,66	0,03	0,60	0,06
U Sgr	0,71	0,06	0,68	0,07
AP Sgr	0,75	0,04	0,73	0,05
BB Sgr	0,75	0,03	0,70	0,02
V350 Sgr	0,63	0,04	0,58	0,05
SS Sct	0,60	0,03	0,61	0,02
EU Tau	0,55	0,06	0,48	0,06
V473 Lyr	0,54	0,06	0,50	0,06

Azt is meg kell említeni, hogy az U, B, V és R sávbeli amplitúdók mellett egy ötödik – kézenfekvően az I sávbeli – amplitúdó rontott volna az AIT használhatóságán. Öt amplitúdó esetén ugyanis a hullámszámtól való függés ugyanis kevésbé jól közelíthető egyenessel, a formális hiba a végül is definícióként elfogadott AIT esetében a legkisebb.

A 4.9 ábra az AIT periódusfüggését mutatja (az ábrán szerepelnek a később tárgyalandó kétmódusú cefeidák is). Az ábrából kitűnik, hogy a kísérő nélküli cefeidák AIT-értéke monoton nő a periódussal, illetve tetszőleges periódusnál az AIT egy szűk tartományon belüli értéket vehet fel.

Az AIT monoton növekedésének oka a hosszabb pulzációs periódusnak megfelelő alacsonyabb effektív hőmérséklet lehet, de az erre vonatkozó pulzációs modell is hiányzik még. Az AIT–logP diagram sávjának természetes szélessége ekkor, legalábbis részben, az instabilitási sáv szélessége miatt alakul így. Ennek igazolására érdemes megnézni, hogy milyen korreláció van az egyes cefeidáknak az instabilitási sávban való elhelyezkedése és a 4.9 ábra pontsorozatához illesztendő egyenestől való eltérés között (ez a közeljövő egyik feladata lesz).



4.9 ábra. Az amplitúdó-iránytangens (AIT) periódusfüggése. A jelölésekre vonatkozóan l. a 4.1 ábra aláírását. A korábban szimbólumként nem használt kis háromszögek a kétmódusú cefeidák egyes módusaira vonatkozó adatokat jelölik: \triangleleft az első felhangét, \triangleright az alaprezgését.

Az ismert kettősöket természetesen ki kell zárni az illesztésből. Az ábráról ugyan is jól látszik, hogy a legalacsonyabb AIT-értékeket bármely periódusnál a kettősök mutatják: YZ Aur, RW Cam, KN Cen, V659 Cen, AX Cir, SU Cyg, V1334 Cyg, CS Ori. Ezek tehát azok a cefeidák, amelyek kísérője korai színképtípusú csillag. Az adott periódusnál legnagyobb AIT-értékű cefeidák pedig vörös kísérőkkel alkothatnak párt. Az alacsony hőmérsékletű másodkomponens luminozitása természetesen kisebb, mint a kék kísérőké, ezért az AIT-re gyakorolt (ez esetben növelő) hatása nem annyira számottevő, mint a forró másodkomponens által előidézett AIT-csökkenés. Mivel korábban az ilyen vörös kísérők kimutatására nem volt alkalmas fotometriai módszer, a pontthalmaz felső burkolója közelében található ismert spektroszkópiai kettősökről (pl. FR Car, VW Cen, SZ Cyg, BZ Cyg) immár állítható, hogy a cefeida kísérője a pulzáló komponensnél alacsonyabb hőmérsékletű csillag. (Külön tanulmányozást érdemel az SU Cru, amelynek AIT-je majdnem duplája az ahhoz a periódushoz tartozó normális értéknek, ami semmiképpen sem magyarázható kísérő csillag fotometriai hatásával.)

Az AIT 4.9 ábrán bemutatott periódusfüggése egyébként azt is jelenti, hogy a cefeidák esetében a fotometriai amplitúdók arányára eddig használt egységes számérték csak durva közelítés. *Van Genderen* (1974) például a legnagyobb amplitúdójú cefeidák kizárásával (ami megfelel a 11 napnál hosszabb pulzációs

periódusú cefeidák elhagyásának) a Johnson-féle B és V sávban mérhető amplitúdók között a következő összefüggést találta: $A_V = 0,67 \times A_B$. Ha egy-egy csillagnál ez az arányossági tényező jóval meghaladta a 0,67-et, azt kék kísérő hatásának tulajdonították. Az itt bemutatott vizsgálat azonban rávilágít arra, hogy ez az arányossági tényező periódusfüggő, és e problémát érdemes a közeljövőben alaposabban megvizsgálni.

Az AIT-módszer alapján további cefeidákról állítható kettős rendszerhez való tartozásuk. Ezen újonnan felfedezett kettősök felsorolása a szükséges indoklással együtt az 5.5 fejezetben található. A módszer alkalmazhatóságáról még annyit kell megjegyezni, hogy különösen olyan halványabb cefeidák kék kísérőjének kimutatására használható, amelyekről a jelenlegi műszerekkel még nem lehet megfelelő ultraibolya színekpet kapni.

4.3 A kétmódusú cefeidák amplitúdóiról

A kétmódusú pulzáció esetében különösen fontos a pulzációs periódusok pontos ismerete, mert pusztán a frekvenciák aránya is lényeges információt jelent a csillag tömegére és sugarára vonatkozóan (l. pl. *Moskalik* 1995). Ha még több oszcillációs módus gerjesztődik egyidejűleg, azok frekvenciájából a csillag szerkezetére is következtetni lehet – ezzel foglalkozik az asztroszeizmológia.

Az oszcillációs periódus elsőrendűsége, valamint a kétmódusú cefeidák észlelésének időigényessége miatt az amplitúdók vizsgálata még inkább háttérbe szorult ezen asztrofizikai szempontból kiemelkedően fontos csillagoknál. A néhány hónapja felfedezett (*Antipin* 1997, l. még *Berdnikov* és *Turner* 1997), még hivatalos változócsillag-nevet sem kapott BD–10°4669-cel együtt összesen 16 kétmódusú, vagy más néven beat cefeida ismert a Tejútrendszerben. Közülük csak a tíz magnitúdónál fényesebbekről van akkora megfigyelési anyag, hogy az amplitúdók viselkedését érdemben lehet vizsgálni.

Az ismert galaktikus beat cefeidák fő jellemzőit a 4.3 táblázat foglalja össze (továbbá l. *Szabados* 1989a). E táblázat oszlopai a cefeida neve után a hosszabb periódus értékét (napban megadva), a két periódus arányát, az átlagos V -fényességet és az esetleges megjegyzést tartalmazzák. A galaktikus beat cefeidák a CO Aurigae kivételével az alapprezégésben és az első felhangban pulzálnak.

Az egymódusú cefeidákhoz képest itt további vizsgálati lehetőségek vannak:

- az egyes módusokhoz tartozó amplitúdóparaméterek külön-külön meghatározása;
 - a két módusnak megfelelő amplitúdók arányának vizsgálata;
 - a csatolási tagok amplitúdóinak vizsgálata;
 - az amplitúdók időbeli stabilitásának nyomon követése;
- de ez a felsorolás nem kimerítő.

A kétmódusú cefeidák amplitúdóinak meghatározásához szintén az UBVR-rendszerben publikált adatokat használtam, valamint az összes radiálissebesség-adatot, bár azok nem annyira homogének, mint a fotometriaiak. A vizsgálat során használt megfigyelési adatok forrásának tételes felsorolásától itt eltekintek, mivel az amplitúdóadatokat nem az egyperiódusos cefeidákra vonatkozó (a Függelékben

közölt) táblázatokhoz hasonló formában adom meg. Lényeges viszont a feldolgozás módjának ismertetése.

4.3 táblázat. Az ismert galaktikus beat cefeidák

Cefeida	P_H	P_R/P_H	$\langle V \rangle$	Megjegyzés
CO Aur	1,783	0,801	7,7	az 1. és 2. felhang gerjesztődött spektroszkópiai kettős
Y Car	3,640	0,703	8,1	
GZ Car	4,159	0,705	10,2	
TU Cas	2,139	0,710	7,7	
AS Cas	3,025	0,713	12,1	vizuális kettős
UZ Cen	3,334	0,706	8,8	
BK Cen	3,174	0,700	10,0	
VX Pup	3,011	0,710	8,2	
BE Pup	2,871	0,706	(14,9)	(fotografikus magnitúdó)
EW Sct	5,820	0,698	8,1	az NGC 6649 nyílthalmaz tagja
V367 Sct	6,293	0,697	11,6	
BQ Ser	4,271	0,705	9,5	
U TrA	2,568	0,711	7,9	
AP Vel	3,128	0,703	10,0	
AX Vel	3,673	0,706	8,2	
BD-10°4669	4,841	0,699	9,7	

A két módusban pulzáló csillag megfigyelt időbeli változását az alábbi módon bontottam harmonikusok összegére:

$$m(t) = m_0 + \sum_{j,k} a_{jk} \cos[(j\omega_0 + k\omega_1)t + \phi_{jk}] \quad (1)$$

ahol $m(t)$ a t időpontban mért megfigyelési adatot jelenti, ω_0 az alaprezgés szögfrekvenciája, ω_1 pedig az első felhangé, a j és k indexek pedig tetszőleges egész értéket vehetnek fel. (A CO Aur az egyetlen kivétel: e csillag esetében a fenti képletben az ω_1 and ω_2 szögfrekvenciák szerepelnek.) A Fourier-felbontást a MUFRAN-programcsomag (Kolláth 1990) segítségével hajtottam végre (Szabados 1993ab, 1997b).

4.4 táblázat. A TU Cas pulzációjában kimutatható módusok és harmonikusok. Az amplitúdó (magnitúdóban) itt a harmonikus rezgőmozgásnál megszokott értelemben szerepel. A frekvencia ciklus/nap dimenziójú, a fázis fokokban van megadva.

Azonosítás	Frekvencia B	Amplitúdó B	Fázis B	Frekvencia V	Amplitúdó V	Fázis V
f_0	0,46734	0,446	180	0,46738	0,456	186
$2f_0$	0,93468	0,181	141	0,93476	0,180	147
$3f_0$	1,40202	0,079	94	1,40214	0,071	97
$4f_0$	1,86936	0,038	46	1,86952	0,028	49
$5f_0$	2,33670	0,022	357	2,33690	0,017	5
$6f_0$	2,80404	0,010	327	2,80428	0,011	306
f_1	0,65860	0,198	336	0,65848	0,194	336
$2f_1$	1,31720	0,032	84	1,31696	0,032	77
$3f_1$	1,97580	0,006	218	1,97544	0,007	210
f_0+f_1	1,12594	0,147	310	1,12586	0,139	309
$2(f_0+f_1)$	2,25188	0,041	9	2,25172	0,038	17
$3(f_0+f_1)$	3,37782	0,010	76	(3,37758)	0,010	80
$2f_0+f_1$	1,59328	0,102	263	1,59324	0,090	261
$3f_0+f_1$	2,06062	0,062	224	2,06062	0,054	222
$4f_0+f_1$	2,52796	0,036	178	2,52800	0,031	178
$5f_0+f_1$	2,99530	0,023	146	2,99538	0,019	143
$6f_0+f_1$	3,46264	0,011	115	3,46276	0,008	103
f_0+2f_1	1,78454	0,037	50	1,78434	0,040	56
$3f_0+2f_1$	2,71922	0,034	334	2,71910	0,030	328
$4f_0+2f_1$	3,18656	0,023	300	3,18648	0,020	297
$5f_0+2f_1$	3,65390	0,018	277	(3,65386)	0,010	260
f_0+3f_1	2,44314	0,007	155	2,44282	0,011	135
$2f_0+3f_1$	2,91048	0,011	93	2,91020	0,010	103
$4f_0+3f_1$	3,84516	0,009	54	3,84496	0,008	49
f_1-f_0	0,19126	0,081	314	0,19110	0,083	309
$2f_0-f_1$	0,27608	0,024	335	0,27628	0,020	347
$2f_1-f_0$	0,84986	0,016	71	0,84958	0,021	78
$3f_0-f_1$	0,74342	0,014	293	(0,74366)	0,010	304
$3f_1-f_0$	1,50846	0,005	185	1,50806	0,004	281

A legalaposabban megfigyelt beat cefeidára, a TU Cassiopeiae-ra vonatkozóan kimutattam (Szabados 1993b), hogy igen magas rendű harmonikusok (a $6f_0$, $3f_1$, $3(f_0+f_1)$ tagokig bezárólag) és csatolási tagok (a $6f_0+f_1$, $5f_0+2f_1$, $4f_0+3f_1$, $3f_1-f_0$, $3f_0-f_1$ komponensekig bezárólag) is jelen vannak a csillag rezgésében. A 4.4 táblázatban részletes felsorolás található a TU Cas 1973-as hazai megfigyeléseiből meghatározott frekvenciákról. Ezek azonosítása a Fourier-analízis során kapott teljesítmény-színkép alapján történt. Az igen kis amplitúdójú komponens-frekvenciák kimutatása akkor lehet sikeres, ha a teljesítmény-színképben egészen éles csúcsok vannak, s ez akkor valósul meg, ha az ún. ablak-függvény központi csúcsa igen keskeny (vagyis hosszú adatsor esetén) és a mintavételezés megszakítottsága és ciklikussága miatt fellépő hamis (alias) csúcsok jóval kisebb amplitúdójúak, mint a központi csúcs. Mindez akkor teljesül, ha az adatsor kellőképpen hosszú időszakot fog át, vagyis a kétmódusú cefeidák megfigyelésénél nem az a cél, hogy rövid időn belül jól lefedett fázisgörbét kapjunk, mint az egyperiódusos változócsillagoknál vagy

a nagyon rövid (néhány perces vagy órás) periódusú, de több módusban pulzáló változóknál.

Biztosra vehető, hogy hasonlóan sok rezgési frekvencia van jelen a többi beat cefeida pulzációjában is, de a kisebb amplitúdójú tagok a jelenleg rendelkezésre álló adat-sorokból nem mutathatók ki. A beat cefeidák amplitúdómeghatározásához szükséges Fourier-felbontásnál pedig egységesen kell kezelni valamennyi csillagot, hogy az egész csillagcsoportra érvényes következtetésre juthassunk! Ennek érdekében csak a legnagyobb amplitúdójú rezgési frekvenciákat vettem figyelembe a harmonikus összetevőkkel történő illesztésnél, nevezetesen a következő komponenseket:

$$f_0, 2f_0, 3f_0$$

$$f_1, 2f_1$$

$$f_0 + f_1, 2(f_0 + f_1)$$

$$f_1 - f_0.$$

A kisebb adatsoroknál még ez a nyolc komponens is soknak bizonyult, ott csupán a következő öt tag szerepel az illesztésben:

$$f_0, 2f_0$$

$$f_1$$

$$f_0 + f_1$$

$$f_1 - f_0.$$

4.5 táblázat. A galaktikus beat cefeidák amplitúdóadatai

Cefeida	$\log P$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{VRAD}	AIT
CO Aur							
első felhang	0,251	0,52	0,50	0,35	0,25	17,2	0,43
második felhang	0,155	0,14	0,14	0,09	0,06	6,2	0,46
TU Cas							
alaprezgés	0,330	0,95	0,87	0,60	0,42	28,0	0,48
első felhang	0,181	0,34	0,31	0,21	0,15	12,6	0,49
EW Sct							
alaprezgés	0,765	0,66	0,49	0,34	0,24	13,3	0,65
első felhang	0,609	0,46	0,37	0,26	0,20	14,0	0,59
U TrA							
alaprezgés	0,410	1,04	0,90	0,62	0,49	29,6	0,51
első felhang	0,261	0,40	0,35	0,24	0,18	12,7	0,53

Az 5 és 8 komponenssel történt illesztés alapján meghatározott amplitúdók között nincs szignifikáns különbség az egyes módusok amplitúdóját tekintve (ezt pár csillagra mindkét frekvenciasorozattal elvégezve az illesztést ellenőriztem), így az alábbiakban ismertetett eredményeket nem befolyásolja, hogy az egyik vagy a másik illesztés alapján születtek.

Tekintsük először az amplitúdó-iránytangensre vonatkozó eredményeket! Ezt a paramétert a négy legfényesebb beat cefeidára sikerült meghatározni (l. a 4.5 táblázatot, valamint a 4.9 ábrát). Látható, hogy a kétmódusú cefeidák is követik az egyperiódusos cefeidák által kirajzolt tendenciát: hosszabb periódusnál nagyobb az

AIT, de ennél is figyelemreméltóbb, hogy azonos csillag két módusára az AIT-értékek alig térnek el egymástól, noha a két pulzációs módusnak megfelelő periódusok között 0,7-es szorzófaktor van. Ez még inkább arra utal, hogy az AIT magára a csillagra jellemző és nem a módustól függ (mint az AA), vagyis a pulzációs periódusnak nagyjából megfelelő értéktől való jelentős eltérést a kísérő csillag okozhatja.

A 4.2 fejezetben definiált amplitúdóarányt viszont 14 beat cefeidára lehetett meghatározni (l. a 4.6 táblázatot – amelynek utolsó három oszlopa a 3.2 fejezetben említett R_{21} Fourier-fázisparamétert tartalmazza). A 4.6 táblázatban a szám utáni : az adat bizonytalanságára utal, az egymás utáni két kettőspont pedig azt jelzi, hogy a rendelkezésre álló megfigyelési adatokból az oszlopban szereplő paramétert nem is volt érdemes meghatározni.

Az egyes pulzációs módusokra a következő átlagos $AA = A_{RV}/A_B$ értékek adódtak:
– az alaprezgésre:

$$AA_0 = 29,2 \pm 3,3 \text{ (n = 11) ;}$$

– az első felhangra:

$$AA_1 = 40,0 \pm 4,9 \text{ (n = 10) ;}$$

– a második felhangra pedig egyetlen adatból:

$$AA_2 = 48,1 .$$

Ezek az értékek – már ami az arányukat illeti – összhangban vannak *Balona* és *Stobie* (1979ab) azon megállapításával, hogy a magasabb pulzációs módusnak a nagyobb frekvencia következtében nagyobb AA felel meg. Az itt kapott értékekből $AA_0/AA_1 = 0,73 \pm 0,17$ és $AA_1/AA_2 = 0,83 \pm 0,10$ adódik, ami jó egyezésnek mondható az elméleti modellek alapján kapott 0,70 és 0,80 hányadosokkal.

A CO Aur második felhangjára vonatkozó AA-érték alapján lehet biztosan állítani, hogy a V473 Lyrae is az első felhangnál magasabb módusban pulzál (l. a 4.2 fejezetet).

Egyelőre nem világos, hogy az egyperiódusos cefeidák (az s-cefeidák és normál amplitúdójú társaik) AA-értéke közötti eltérés miért nem tükrözi az első felhang és az alaprezgés közötti 0,7 periódusarányt (ha az s-cefeidák tényleg az első felhangban pulzálnak). A 4.2 fejezetben már említettem, hogy talán a cefeida kémiai összetétele befolyásolja a pulzációs amplitúdót. A beat cefeidák alapján látszik, hogy korreláció van az AA és a *Simon* (1995) által közölt fémtartalom ([Fe/H]-érték) között. Ezzel kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy a Delta Scuti típusú pulzáló változócsillagoknál *Breger* (1980) szerint a pulzációs amplitúdót befolyásoló két fontos mennyiség a csillag rotációs sebessége és fémtartalma.

A beat cefeidáknál az itt részletesen taglalt AA és AIT paraméterek mellett más amplitúdóarányokat is érdemes tanulmányozni. A két módus amplitúdóinak aránya a hullámhossztól függetlennek adódott, ezért a továbbiakban a behatóbban tanulmányozott V és B sávokban mért amplitúdók alapján képezett arányok átlagát vizsgálok.

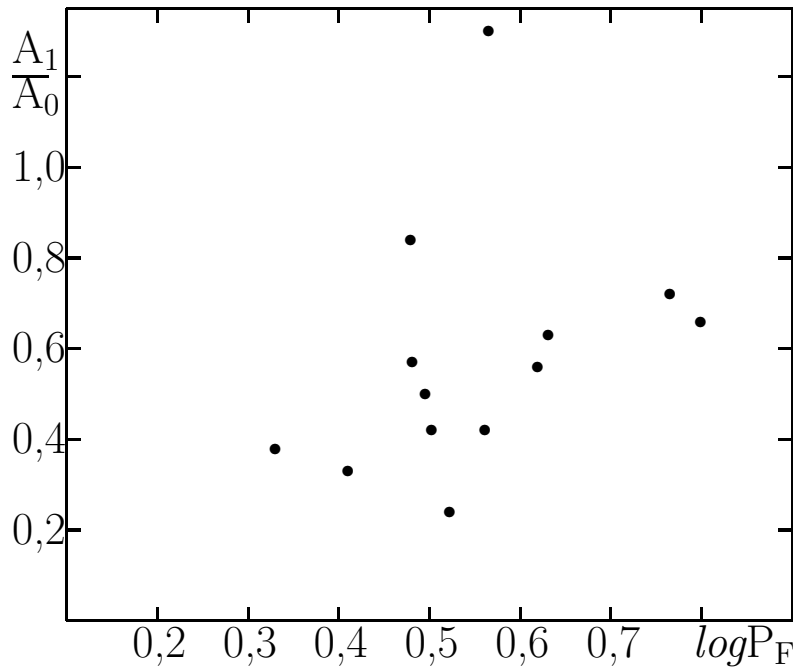
Cefeida	$\log P_0$	AA_0	AA_1	AA_2	A_1/A_0	$(R_{21})_0$	$(R_{21})_1$	$(R_{21})_2$
CO Aur	0,41*	–	34,4	48,1	–	–	0,178	0,055
Y Car	0,561	29,4	38,6	–	0,42	0,298	0,147	–
GZ Car	0,619	26,2	::	–	0,56	0,180	0,077	–
TU Cas	0,330	33,5	45,2	–	0,38	0,348	0,175	–
AS Cas	0,481	–	–	–	0,57	0,270	0,209	–
UZ Cen	0,522	::	::	–	0,24	0,288	0,225	–
BK Cen	0,502	31,3	::	–	0,42	0,175	0,195	–
VX Pup	0,479	31,6	45,0	–	0,84	0,221	0,105	–
EW Sct	0,765	26,9	38,1	–	0,72	0,152	0,044	–
V367 Sct	0,799	26,7	31,7	–	0,66	0,175	0,115	–
BQ Ser	0,631	25,9	39,7	–	0,63	0,190	0,057	–
U TrA	0,410	33,5	45,4:	–	0,33	0,314	0,190	–
AP Vel	0,495	31,7	44,7	–	0,50	0,276	0,198	–
AX Vel	0,565	24,3	36,7	–	1,31	0,062	0,111	–

* A P_0 értékét P_1 -ből számítottam ki, 0,7-et feltételezve hányadosukra.

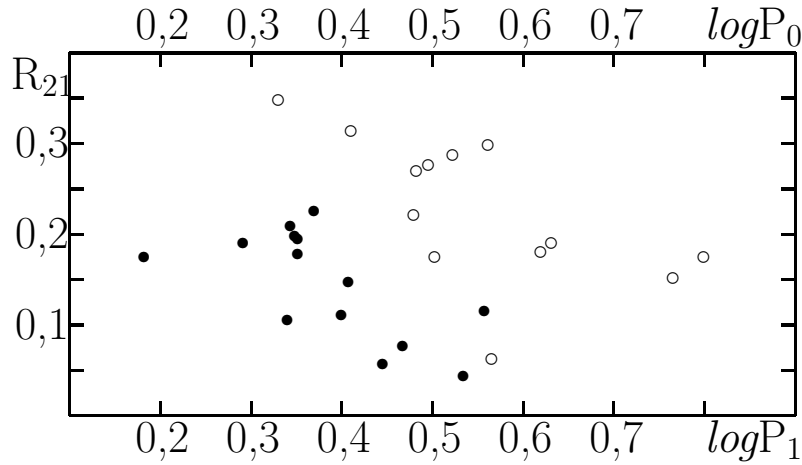
A 4.10 ábrán azt mutatom be, hogy az alapperiódus hosszabb értékeire az első felhangban történő pulzáció egyre dominánsabbá válik (*Szabados* 1997b). Az ábrán nem szerepel, de ugyancsak ezt a tendenciát támasztja alá az időközben felfedezett BD–10°4669 beat cefeida két módusának amplitúdóaránya is. Mivel az A_1/A_0 hányados egy-egy csillagra hosszú időn keresztül állandó (a jelenleg rendelkezésre álló megfigyelési adatok néhány évtizedet fognak át), ez az arány a kétmódusú cefeida jellemző adatának tekinthető, amelyet a csillag fizikai tulajdonságai szabnak meg. E kérdés további elemzését teszi majd lehetővé a MACHO és az EROS fotometriai adatbázisa (az előzetes eredményeket l. *Beaulieu* és mtársai 1995, *Welch* és mtársai 1996 cikkében).

A csatolási tagok (összeg- és különbség-frekvenciák és azok lineáris kombinációi) amplitúdója a megfigyelt esetekben mindig jóval kisebb, mint az egyes módusoké, ezért azok meghatározásánál a relatív hiba nagyobb. A következő tények azonban így is leszűrhetők:

- A csatolási tagok szerepe a radiális sebesség változásánál jelentősebb, mint a fényváltozásnál (*Szabados* 1997b), ami valószínűleg arra vezethető vissza, hogy a színekpvonalak a fotoszféra fölötti rétegről hordoznak információt, vagyis nem onnan, ahol a megfigyelhető fényváltozás származik.
- A CO Aur esetében a csatolási tagoknak megfelelő frekvenciák alig gerjesztődtek. Egyetlen csillag alapján azonban korai lenne arra a következtetésre jutni, hogy az alaprezgésnél magasabb módusban pulzáló beat cefeidáknál a két módus frekvenciájának lineáris kombinációi nem számottevőek. Itt is a MACHO és az EROS projekt során felfedezett kétmódusú cefeidák elemzése vihet előbbre.



4.10 ábra. Az egyidejűleg gerjesztett két módus amplitúdójának aránya az alaprezgés periódusának logaritmusára függvényében a galaktikus beat cefeidákra.



4.11 ábra. Az R_{21} Fourier-paraméter (amplitúdóarány) a pulzációs periódus logaritmusának függvényében. A fekete pontok az első felhangnak megfelelő értékeket jelölik, az üres körök az alaprezgésre vonatkozókat.

A beat cefeidák adatainak Fourier-analízise keretében érdemes volt a 3. fejezetben említett $R_{21} = A_2/A_1$ amplitúdóarányt is megvizsgálni. A 4.11 ábrán ennek értékét ábrázoltam a periódus logaritmusának függvényében. E paraméter periódusfüggése összhangban van a Nagy Magellán-felhő beat cefeidái alapján, több csillagot tartalmazó mintából kirajzolódó tendenciával (l. a 4. ábrát *Welch* és *mtársai* 1996 cikkében). Feltűnő viszont, hogy az AX Velorum két módusa mintha szerepet cserélt volna a két módus tekintetében (az első felhangra kisebb az R_{21} értéke, mint az alaprezgésre). Nincs kizárva, hogy az AX Vel eme különleges viselkedése annak a

következménye, hogy e beat cefeidánál az első felhang a domináns módus, ugyanis az újonnan felfedezett BD–10°4669 szintén az első felhangban pulzál nagyobb amplitúdóval, és az előzetes analízis szerint az R_{21} Fourier-paraméterei szintén az AX Veloruméhoz hasonló peculiaritást mutatják.

5. A cefeidák kettősségével kapcsolatos új eredmények

5.1 A kettőscsillagok előfordulási gyakorisága a cefeidák között

Elöljáróban leszögezem, hogy amikor kettőscsillagokról történik említés, hallgatólagosan beleértendők a kettőnél több komponensből álló (hármass, négyes, sőt többszörös) rendszerek is.

Kuriózum, hogy a cefeida-jelenségre vonatkozó első magyarázat (a századforduló idején) a csillag kettős voltával indokolta a fényesség és a látóirányú sebesség megfigyelt változásait. Amikor sikerült meghatározni a cefeidák luminozitását, és kiderült, hogy szuperóriás csillagokról van szó, akkor a kettőscsillag-modellt el kellett vetni, mert a megfigyelt periódus keringési periódusként való értelmezése esetén a kísérő csillagnak jócskán a cefeida légkörén belül kellett volna keringenie. Az 1920-as években vált teljesen elfogadottá, hogy a cefeidák pulzálnak, és nem a kettősségük okozza a megfigyelhető változásokat.

Arra, hogy egy-egy cefeidának valóban lehet kísérője, csak az ötvenes években figyeltek fel, a fényesebb cefeidák spektroszkópiai vizsgálata kapcsán. *Herbig és Moore* (1952) az S Sagittae-ről mutatta ki, hogy spektroszkópiai kettős egyik komponense, majd *Abt* (1959) az FF Aquilae-val kapcsolatban tett hasonló felfedezést, még később *Roemer* (1965) a Polaris kettős voltát ismerte fel. *Lloyd Evans* (1968) volt az első, aki szisztematikusan kezdte vizsgálni a cefeidák radiális sebességét a kettősség kimutatása érdekében, s ez alapján 15 százalékot határozott meg a cefeidák között előforduló kettősök gyakoriságára az addig vélt 2 százalék (*Abt* 1959) helyett.

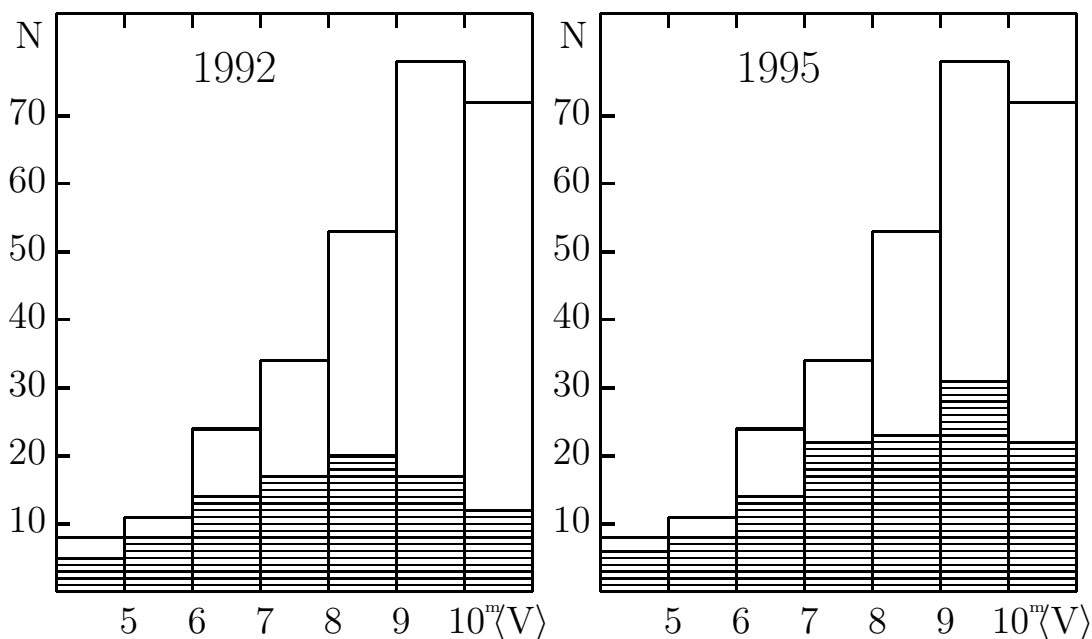
A kettősségre utaló fotometriai kritériumok alapján *Pel* (1978) 25 százalékos kettősségi gyakoriságot állapított meg. A nyolcvanas évek elejére a cefeidák közötti kettősök arányát már több szerző is 25–40 százalékra becsülte. E növekvő gyakorisághoz a közben működésbe helyezett IUE mesterséges hold eredményei is hozzájárultak. A cefeidák kísérőinek többsége ugyanis fősorozati vagy onnan kissé elfejlődött kék csillag, amelyek színeke 300 nm-nél rövidebb hullámhosszakon már elnyomja a cefeidától származó ultraibolya sugárzást.

A kettős rendszerben található cefeidák iránt már a hetvenes évek közepén érdeklődni kezdtem, először a pulzációs periódus megváltozása kapcsán, aztán a nyolcvanas évektől valamennyi cefeida kettősségére vonatkozó összes adatot, megfigyelési bizonyítékot igyekeztem összegyűjteni a szakirodalomból. Ezen túlmenően magam is kidolgoztam a kísérő kimutatására szolgáló módszereket (l. a 4.2 fejezetet).

A statisztikus vizsgálat első eredményeként kimutattam, hogy a cefeidák közötti kettősök előfordulási gyakorisága független a pulzációs periódus értékétől (*Szabados* 1985). *Madore és Fernie* (1980) ugyanis nagyobb kettősségi gyakoriságot talált hosszabb pulzációs periódusok esetén, amire nehéz lett volna elfogadható magyarázatot adni. (Az idők során az is kiderült, hogy az ő kettősségi indikátoruk a legkevésbé megbízható a fotometriai alapú kettősségjelző módszerek közül.)

A (pulzációs ciklusra átlagolt V-fényességet tekintve) 11 magnitúdónál fényesebb cefeidák közel 300 csillagot tartalmazó mintáját elemezve felismertem egy kiválasztási effektus jelenlétét a kettősség kimutatásánál (Szabados 1995). A fényesebb cefeidák alaposabb tanulmányozása során gyakorlatilag nem maradt felfedezetlen kísérő, míg az egyre halványabb csillagokról mind kevesebb információ (radiális sebesség, ultraibolya színekép, többszín-fotometria) áll rendelkezésre, ami azt eredményezi, hogy a halványabb cefeidák között kisebb az ismert kettősök aránya (l. 5.1 ábra).

Minthogy a szabad szemmel is látható cefeidák között a kettősök előfordulási gyakorisága meghaladja a kétharmadot, és még a nyolc magnitúdós cefeidáknál is 50 százaléknál nagyobb, azt lehet állítani, hogy a klasszikus cefeidák legalább fele kettős rendszer tagja. Ez az arány egyébként normálisnak tekinthető a galaktikus mező más típusú csillagai alapján. A 8–11 magnitúdós – a műszerezettségtől függően esetleg még halványabb – cefeidák között pedig feltétlenül érdemes keresni az eddig fel nem ismert kettősöket.



5.1 ábra. A kiválasztási effektusra utaló hisztogramok. Az egyes oszlopokban az egy magnitúdó fényességintervallumba eső cefeidák szerepelnek. Az alsó, sátrózott rész az ismert kettősök számára utal, a felette levő fehér tartomány a magányos vagy a kettősség szempontjából még nem vizsgált cefeidákat jelöli. Látható, hogy csökkenő fényesség felé egyre kisebb az ismert kettősök aránya a cefeidák között. Az is kitűnik, hogy az intenzív kutatások eredményeképpen 1992 és 1995 között sokat sikerült „ledolgozni” az effektusból. A legutóbbi két évben a helyzet tovább javult, de erre vonatkozóan nem készítettem újabb hisztogramot.

A kiválasztási effektus kimutatása, valamint azt megelőzően bizonyos cefeidák gyanítható kettősségére vonatkozóan általam publikált adatok és összeállítások (Szabados 1988a, 1989b, 1990b, 1991, 1992c) felkeltették a CORAVEL-típusú spektrográffal dolgozó moszkvai csoport figyelmét, amely ezután intenzíven kezdett foglalkozni a cefeidák radiális sebességének mérésével (l. Gorynya és mtársai 1992a,

1996a,b). Akkor a genfi csoport már javában végezte hasonló jellegű méréseit az eredeti CORAVEL-spektrográffal, így a két csoport méréseinek összehasonlítása további spektroszkópai kettősök kimutatását tette/teszi lehetővé az egyes csoportok önállóan talált kettőscsillagain túlmenően.

Az 5.1 ábra hisztogramjai nemcsak a kiválasztási effektus létét, hanem időben csökkenő tendenciáját is szemléltetik. Az elmúlt néhány év célirányos kutatásai ugyanis számos új kettős felismerését eredményezték a halványabb cefeidák között.

5.2 Újabb spektroszkópai kettősök kimutatása

Mielőtt az általam talált spektroszkópai kettősök rövid ismertetésére térek, néhány korábbi eredményemet említem meg a cefeidák radiális sebességével kapcsolatos átfogó vizsgálat kezdeti időszakából.

A szakirodalomban publikált adatok alapján meghatároztam az XX Centauri, az X Sagittarii és a V350 Sagittarii keringési periódusát (*Szabados* 1990a). Az XX Cen esetében 909,4 nap adódott, az X Sgr keringési periódusa 507,25 nap, míg a V350 Sgr pályaperiódusára 1129 napot kaptam (ez utóbbi rendszer keringési periódusa az újabb mérések szerint azonban valójában hosszabb – l. a 6.2 fejezetet). Ezt a közleményemet azért tekintem fontosnak, mert akkoriban mindössze tizenegy cefeida keringési periódusa volt ismert.

A cefeidák többségének radiális sebességéről azonban nem volt bőséges megfigyelési anyag. Sok esetben csak azt lehetett érzékelni, hogy a látóirányú sebesség pulzációra átlagolt értéke (az ún. gamma-sebesség) az észlelés hibáját meghaladó mértékben változik az idő függvényében. A változás realitásának megítélése főként azért nehéz, mert a nyolcvanas éveket megelőző időkből származó megfigyelési adatok meglehetősen inhomogének (különböző színekpvonalak alapján, eltérő diszperziójú színekpekből stb.). Korlátozott pontossága ellenére különösen értékes *Joy* (1937) megfigyelési sorozata, amely talán a legelső nagy adatbázis változócsillagok radiális sebességére vonatkozóan. Mindenesetre a cefeidákról csak fél évszázad elteltével sikerült hasonlóan nagy mennyiségű – már sokkal pontosabb – radiálissebesség-megfigyeléseket végezni.

A szórványos és nem kielégítő pontosságú korábbi észlelések alapján több cefeidáról is gyanítani lehetett, hogy spektroszkópai kettős tagja (*Szabados* 1988a, 1989b, 1991), de a gamma-sebesség változásának megerősítése másokra várt. A VZ Cygni és az MW Cygni spektroszkópai kettősségét így a moszkvai CORAVEL-csoportnak sikerült igazolnia (*Samus* és mtársai 1993, *Gorynya* és mtársai 1992b).

Az újabb, pontos radiálissebesség-mérések birtokában meg lehetett állapítani, hogy a *Joy* mérései alapján elkészített fázisgörbéknél a nagy szórás oka sok esetben a csillag fel nem ismert kettőssége. *Joy* mérési sorozata ugyanis több mint egy évtizedet fog át, ami ideális hosszúságú a gamma-sebesség változásának tanulmányozása céljából.

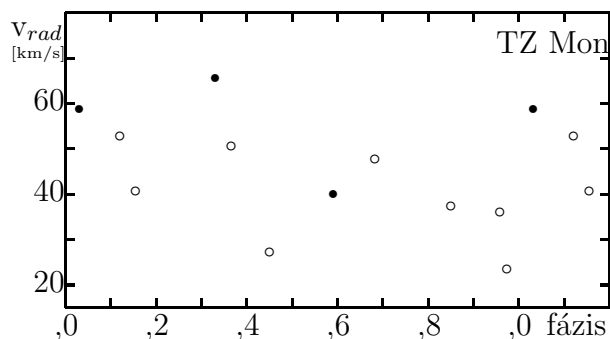
A CORAVEL előtti adatok elemzéséből azt lehetett leszűrni, hogy 4 km/s az a kritikus érték, amelynél kisebb amplitúdójú orbitális változást még nem lehet megbízhatóan kimutatni. Az újabb, pontosabb mérések esetében ez az alsó határ lejjebb szorítható (l. az U Vul és az SV Vul esetét később).

A szakirodalomban megtalálható adatok alapján a következő cefeidák spektroszkópiai kettőshöz való tartozását sikerült kimutatnom: VY Per (*Szabados* 1992a), RX Cam (*Szabados* 1992d), SS CMa, VZ CMa, VY Car, EY Car, FR Car, SY Cas, CG Cas, VW Cen, OO Cen, SU Cru, VX Cru, TZ Mon, XX Mon, RT Mus, CR Ori, LS Pup, YZ Sgr, AV Sgr, RU Sct, DP Vel, U Vul és SV Vul (*Szabados* 1996). Ez utóbbi közleményben tehát egyszerre 22 olyan, eddig nem ismert spektroszkópiai kettős létét jelentettem be, amelynek egyik komponense cefeida típusú változócsillag.

A dolgozat terjedelmének ésszerű keretek között tartása nem teszi lehetővé az egyes rendszerek részletesebb bemutatását. Néhány általános megjegyzés azonban ide kívánczok.

A gamma-sebesség változásának kimutatásához lényeges a pulzációs periódus pontos ismerete. Még állandó gamma-sebesség esetén sem célszerű a pulzációs periódust a radiálissebesség-mérések periódusanalíziséből megállapítani. A fotometriai adatok pontossága annyival felülmúlja a radiálissebesség-adatokét, hogy a spektroszkópiai adatok fázis szerinti illesztésénél csakis a fotometria alapján megállapított pulzációs periódus lehet a kiindulópont. Így egyrészt kisebb amplitúdójú gammasebesség-változás is észrevehető, másrészt kizárható, hogy az esetleges fáziscúszást a gamma-sebesség változásának tulajdonítsuk.

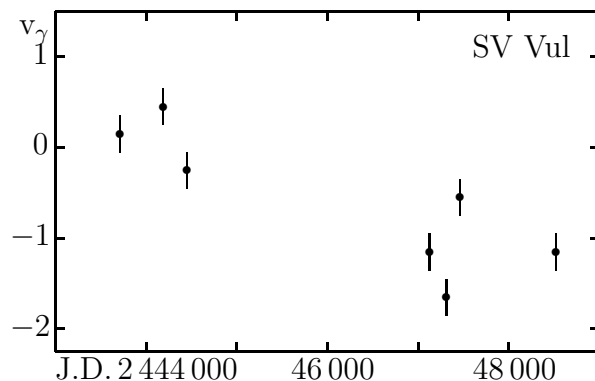
A radiálissebesség-adatok elemzését ezért mindig a pulzációs periódus helyes értékének megállapításával kezdem, nemcsak a korábbi pontatlanságok kiszűrésére, hanem a csillagfejlődési vagy egyéb okból eredő periódusváltozás nyomon követése érdekében is. Az 5.2 ábrán látható fázisdiagram is a fotometriai adatokból meghatározott (10^{-5} relatív pontosságú) pulzációs periódus alapján készült. A hiányos radiálissebesség-görbéről így bizton állítható, hogy a két méréssorozat fázis szerinti illesztése helyes. *Pont* és *mtársai* (1994a), valamint *Joy* (1937) szórványos adatai jelentős orbitális sebességváltozásról árulkodnak. Sőt, *Joy* adatainak „szórása” arra enged következtetni, hogy a keringési periódus nem lehet hosszabb 2–3 évnél.



5.2 ábra. A TZ Mon radiális sebességének fázisgörbéje. • : *Pont* és *mtársai* (1994a), ○ : *Joy* (1937) adatai. A részletesebb megjegyzéseket l. a szövegben.

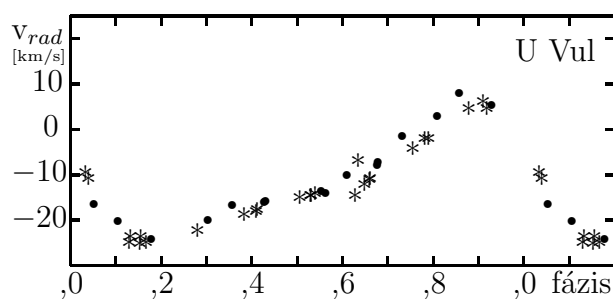
A helyes pulzációs periódus megállapításának szükségessége főleg az egészen kis orbitális effektus esetén elvitathatatlan. Jó példa erre az SV Vulpeculae: mind a genfi (*Bersier* és *mtársai* 1994), mind a moszkvai (*Gorynya* és *mtársai* 1992a)

CORAVEL-csoport intenzíven mérte e hosszú periódusú cefeida radiális sebességét, de egyiküknek sem tűnt fel, hogy a cefeida tömegközéppontjára vonatkoztatott radiális sebesség változik. Az SV Vul pulzációs periódusa ugyanis erősen változó (*Szabados* 1991, *Berdnikov* 1994), s ha a radiális sebesség fázisgörbáját nem a pulzációs periódus aktuális értékével rajzoljuk fel, az éves fázisgörbék változó gamma-sebesség miatt fellépő vertikális elcsúszása észrevétlen marad. Az 5.3 ábra az SV Vulpeculae gamma-sebességének lassú változását mutatja (*Szabados* 1996).



5.3 ábra. Az SV Vulpeculae gamma-sebességének 1978 és 1988 közötti változása a cefeida spektroszkópiái kettőshöz való tartozására utal (*Szabados* 1996).

Az U Vulpeculae spektroszkópiái kettősségét már korábban gyanítottam (*Szabados* 1991). A meggyőző bizonyítékot a két CORAVEL-csoport méréseinek egybevetése szolgáltatta (*Szabados* 1996). Az 5.4 ábrán jól látszik, hogy az 1991-es adatok (*Gorunya* és mtársai 1992a) negatívabb gamma-sebességet adnak, mint az 1987–1988-as adatok (*Bersier* és mtársai 1994). A moszkvai csoport 1988-as mérése egyébként jó összhangban van a genfiak 1987–1988-as fázisgörbéjével.

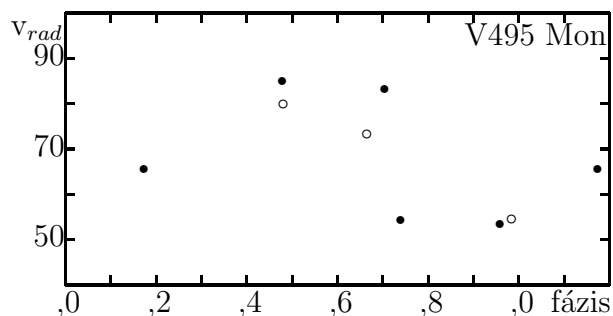


5.4 ábra. Az U Vulpeculae radiális sebességének a pontos pulzációs periódussal felrajzolt fázisgörbéjén jól látszik, hogy négy év alatt mennyit változik a gamma-sebesség (• : *Bersier* és mtársai 1994; * : *Gorunya* és mtársai 1992a).

Az U Vul és SV Vul példája azt jelzi, hogy a homogén és pontos sebességadatokról már 4 km/s-nél jóval kisebb keringési effektust is ki lehet mutatni, ami

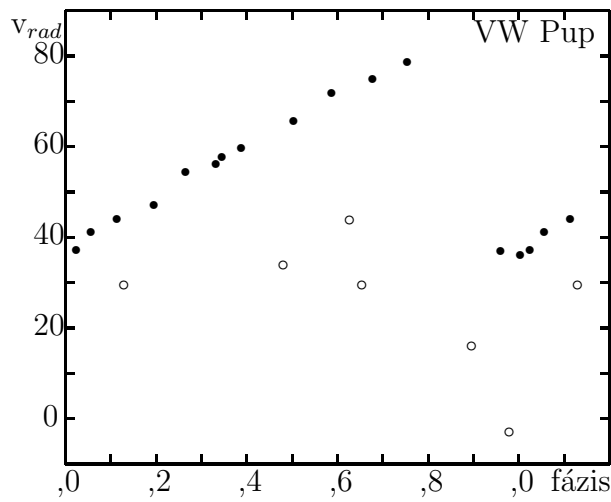
remélhetőleg további cefeidák spektroszkópiai kettős rendszerhez való tartozásának megállapításához vezet. A reményen túl azonban már újabb konkrét eredmények is vannak. *Frederic Pont* és *Nikolay Samus* révén mind a genfi, mind a moszkvai CORAVEL-csoporttal szoros szakmai kapcsolatba kerültem, és ösztönzésemre a gyaníthatóan spektroszkópiai kettős rendszerbe tartozó cefeidákról további radiálissebesség-méréseket hajtanak végre. Nézzünk néhány példát a folyamatban levő munkák még nem publikált eredményei közül!

Pont és mtársai (1997) a galaktikus rotáció pontosabb meghatározása érdekében távoli (halvány) cefeidák radiális sebességét tanulmányozták. Ennek során számos olyan cefeidáról hajtottak végre radiálissebesség-mérést, amelyről nem volt korábbi sebességadat, vagy legfeljebb csak egy epochára lehetett meghatározni a gamma-sebességet. Az általuk végzett új (részben már a CORAVEL-nél is sokkal érzékenyebb és pontosabb ELODIE-spektrográffal készült) méréseket elemezve, ill. ahol lehetett, a korábbiakkal összehasonlítva, nyolc cefeidáról mutattam ki, hogy spektroszkópiai kísérője van. Az új kettősök: YZ Aur, AS Aur, AA Gem, TX Mon, V495 Mon, CS Ori, UX Per, VW Pup. A felfedezést ismertető cikk kéziratának készítése folyamatban van (szerzőtárs *F. Pont*). Az újonnan talált kettősök radiális sebességének fázisgörbéi közül itt két tipikus esetet mutatok be: a V495 Monocerotis-ra vonatkozót (5.5 ábra), amely az ELODIE-spektrográffal két egymást követő évben kapott adatok közötti szisztematikus eltérést mutatja e 12 magnitúdónál is halványabb cefeidára (a vertikális elcsúszás menete alapján ítélve a keringési periódus rövid, néhány száz napos lehet); valamint a VW Puppis-ra vonatkozót (5.6 ábra), amelynél a gamma-sebesség változása meghaladja a 20 km/s értéket a két megfigyelési epocha között. Sőt, *F. Pont* legújabb adataiból az is látszik, hogy a gamma-sebesség egy-két év alatt észrevehetően megváltozik (*Joy* mérései óta több mint fél évszázad telt el).



5.5 ábra. A V495 Monocerotis radiális sebességének fázisgörbéje *Pont* és mtársai (1997) két egymást követő évben mért adataiból.

Hasonló együttműködést sikerült kialakítani a moszkvai CORAVEL-csoport szakmai vezetőjével, *Nikolay Samussal* is. Az ő méréseit a korábban publikált adatokkal összehasonlítva az RY Cas, a WZ Sgr és a BX Sct spektroszkópiai kettőshöz való tartozását mutattam ki. E cefeidák spektroszkópiai megfigyelését folytatják, és hozzávetőleg egy év múlva esedékes egy közlemény megjelentetése az eredményekről.



5.6 ábra. A VW Puppis radiális sebességének fázisgörbéje. ● : *Pont* és mtársai (1997), *Szabados* és *Pont* (kézirat); ○ : *Joy* (1937).

Néhány további fényes cefeida spektroszkópai kettőshöz való tartozása még megerősítésre vár: a BZ Cygni, a V386 Cygni (*Szabados* 1991), az Y Sagittarii és a V Velorum (*Szabados* 1989b) változó gamma-sebességére ugyan felhívtam a figyelmet, de a pontos radiálissebesség-mérések még váratnak magukra. Eredményes volt viszont az IR Cephei esetleges kettősségére vonatkozó megjegyzés e cefeidának a Cepheus OB2 asszociációval való kapcsolatát tárgyaló cikkben (*Kun* és *Szabados* 1988): az elmúlt évtizedben végzett mérésekből *Gorynya* és mtársai (1995b) az IR Cep spektroszkópai kettősségére következtettek.

5.3 Kísérő csillag kimutatása IUE-színképek alapján

Mivel cefeidák kísérő csillagainak többsége a főcsillagnál magasabb hőmérsékletű fősorozati vagy onnan kissé elfejlődött csillag, azok kimutatására az ultraibolya színképtartomány a legalkalmasabb. A forró másodkomponensek szisztematikus detektálására *Evans* (1992a) hajtott végre nagyszabású spektroszkópai programot: a nyolc magnitúdónál fényesebb cefeidák IUE-színképéből állapította meg a kísérő színképtípusát, vagy azt a határértéket, aminél csak későbbi lehet a kísérő.

Az alkalmazott eljárás során az IUE-színképből levonandó az adott cefeida színképtípusának megfelelő szuperóriás csillag spektruma, majd azt kell megállapítani, hogy milyen fősorozati csillag színképe felel meg leginkább az így megmaradt spektrumnak.

Halványabb cefeidákról csak a kísérő csillag létének gyanúja esetén volt érdemes távcsőidőre pályázni az IUE mesterséges hold műszereivel történő méréshez. *Nancy Evans*-szel a kettős cefeidák témájában kialakult szakmai kapcsolatom akkor vált szorossá, amikor a különféle kettősségi indikátorok alapján általam kettősnek tartott cefeidák IUE-észlelésére vállalkozott.

Az öt északi cefeida – FM Aql, FN Aql, RX Aur, Y Lac, RS Ori – ultraibolya színképeinek kiértékeléséből a következő eredményeket kaptuk (*Evans*, *Szabados*, *Udalska* 1990).

- A pulzációs periódus változásában fényidő-effektust mutató (l. az 5.4 fejezetet) FN Aql és RX Aur kísérője (főszorozati csillagot feltételezve) egyaránt A1-nél későbbi;
- Az FM Aql esetében nem igazolódott Madore (1977) fotometriai módszere által jelzett B9 V kísérő. Az IUE-színképek alapján a kísérő nem lehet A0-nál korábbi.
- Az időközben spektroszkópai kettősnek is bizonyult Y Lacertae UV-fluxusa A0 V típusú kísérőre utal a Madore-módszer által jelzett B8 V helyett.
- Az RS Orionis esetében pedig a kísérő B8-B9 típusú főszorozati csillag. A bizonytalanság onnan ered, hogy ez a csillag már az IUE-vel való észlelhetőség határán volt.

5.4 A kísérő csillag hatása a cefeida pulzációs periódusára

A pulzációs periódus, lévén a legpontosabban meghatározható megfigyelési adat a cefeidák esetében, nagyon érzékenyen jelzi a csillagban vagy körülötte zajló folyamatokat.

A kísérő csillag hatása az alábbi módokon jelentkezik a cefeida pulzációs periódusában (*Szabados* 1992b, 1994):

- fényidő-effektus formájában;
- fázisugrás vagy alternáló periódus formájában.

E hatások kimutatásához az O–C-diagram módszere a legalkalmasabb. A módszer annyira közismert, hogy e helyütt ismertetése nem indokolt (l. pl. *Hoffmeister* 1984; *Willson* 1986). Pontosságára jellemző, hogy „jól átészlelt” csillag esetében a periódus egymilliomodnyi megváltozása jól érzékelhető. Ebben a tekintetben a periódusanalízis korszerű módszerei (Fourier-analízis, a legkisebb négyzetek módszerén alapuló periodogramok stb.) nem versenyképesek az O–C-diagrammal.

Az O–C-módszer sikeres alkalmazásához viszont az szükséges, hogy hosszú időszakról álljon rendelkezésre megfigyelési adat és a vizsgálatba vont korábbi, sokszor nem nagyon pontos adatok feldolgozása homogén módon történjen. Nem célszerű a különféle szerzők által meghatározott fénymaximum-időpontokat elfogadni, hanem mindig az eredeti megfigyelési adatokhoz kell visszanyúlni. Így elkerülhető a szisztematikus hibák fellépése.

A cefeidák pulzációs periódusának csillagfejlődésből származó szekuláris változását kielégítően tárgyalja a szakirodalom (*Szabados* 1983, 1984, *Fernie* 1984a). Általánosságban érvényesülő tendencia, hogy a hosszabb periódusú cefeidák a (nagyobb tömeg miatti) gyorsabb fejlődés következtében erősebben változtatják periódusukat. A pulzációs periódus értékét befolyásoló egyéb effektusok kimutatására ezért főleg a rövid periódusú cefeidáknál nyílik lehetőség, amelyek O–C-gráfja normális esetben egyenes vagy enyhén parabolikus.

A fényidő-effektus a fény véges terjedési sebessége miatt lép fel. Ennek során a periodikus jelenség, pl. a cefeida fényességmaximumának bekövetkezése hosszú periódusú modulációt szenved el, mivel a cefeida tömegközéppontja kering a kettőscsillag tömegközéppontja körül. A cefeidát tartalmazó rendszereknél kimutatására csak a hosszú (néhány évtizedes) keringési periódusú kettősök esetében van remény az effektus nagysága (azaz éppenséggel kicsiny volta) miatt.

A fényidő-effektus mint kettősségi indikátor vitathatatlan előnye viszont az, hogy segítségével tetszőleges hőmérsékletű kísérő kimutatható, tehát nem a kísérő csillag luminozitása a mérvadó, hanem a pályaelemek. Ebben a vonatkozásban a pálya térbeli elhelyezkedése ugyanolyan döntő, mint a spektroszkópiai kettősöknél: az effektus kimutatására 90 fok körüli inklinációnál van remény (tehát amikor a látóvonal és a pályasík kis szöget zár be egymással). Kepler III. törvénye alapján viszont a fényidő-effektus éppen azoknál a kettősöknél számottevő, amelyek gamma-sebessége a pálya méreténél fogva csekély változást mutat.

A fényidő-effektus további fontos szerepe a cefeidák kettősségét illetően az, hogy megállapítása már meglevő (több évtizedes) megfigyelési adatok alapján történik, és megerősítése nem igényel különösen költséges berendezést (elegendő a pontos fotométerrel felszerelt kis távcső). Ugyanakkor a jelenség felhasználhatóságának korláta, hogy a hullám ismétlődésének kivárása – az igazolás érdekében – hosszan tartó folyamat, ezért a fényidő-effektus a cefeidák O–C-diagramjában főként arra jó, hogy felhívja a figyelmet a csillag alapos tanulmányozásra érdemes voltára.

Az általam vizsgált cefeidák O–C-diagramjában fényidő-effektusként értelmezhető periódusváltozási tendenciát találtam az FN Aquilae és az RX Aurigae esetében (Szabados 1988b). Míg az FN Aql radiális sebességében még nem sikerült kimutatni a pálya menti mozgásnak megfelelő változást, az RX Aurigae-ről a legújabb mérések megállapították, hogy spektroszkópiai kettős tagja (Gorynya és mtársai 1996a). Az FN Aql kettősségéhez sem fér azonban kétség, mivel az értekezésben bemutatott új kettősségjelző módszerek közül az amplitúdóarány kísérőcsillag jelenlétére utal. Az O–C-diagrambeli hullámok alapján az FN Aql keringési periódusa kb. 15,5 év, míg az RX Aur periódusa 54 év.

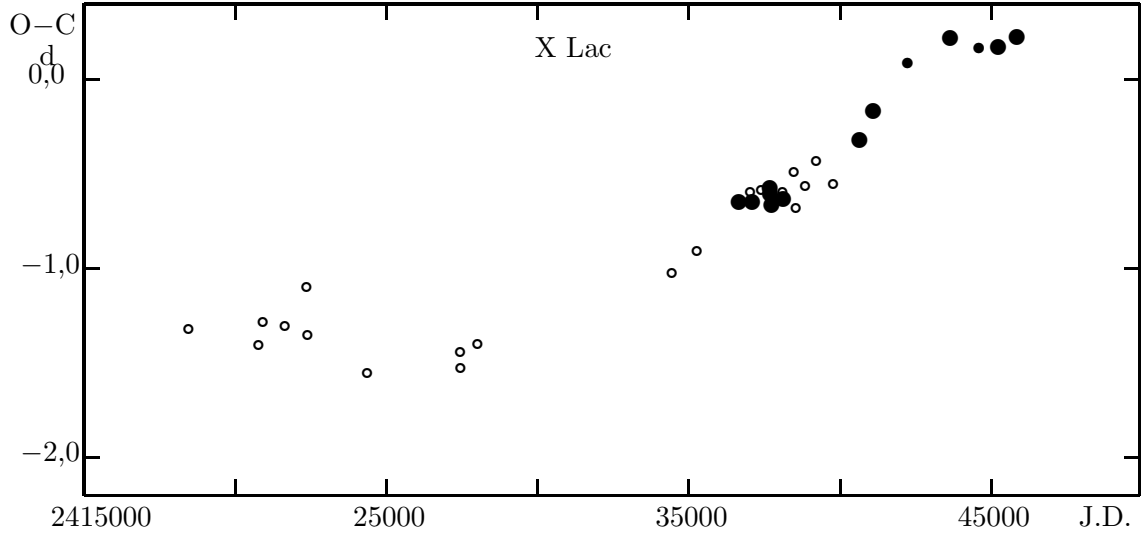
Az ismert spektroszkópiai kettősök közül az AW Persei O–C-diagramjában látszik a fényidő-effektus (Szabados 1980, 1991). Javaslatomra Vinkó József (1993) a cefeidák tekintetében első ízben hajtott végre pályameghatározást a fényidő-effektus és a gamma-sebesség változásának egyidejű figyelembevételével. Noha az AW Per a fényidő-effektus szempontjából legalaposabban vizsgált cefeida, a rendelkezésre álló adatok még így sem elegendőek az általam javasolt tömegmeghatározási módszer (Szabados 1982a) sikeres alkalmazásához.

További cefeidákról a spektroszkópiai kettőshöz való tartozásuk megállapítása után valószínűsíthető, hogy O–C-diagramjuk hullámszerű alakját a cefeida keringése idézi elő. Ilyen eset például az RX Camelopardalis (Szabados 1977, 1992d) és az Y Lacertae (Szabados 1991).

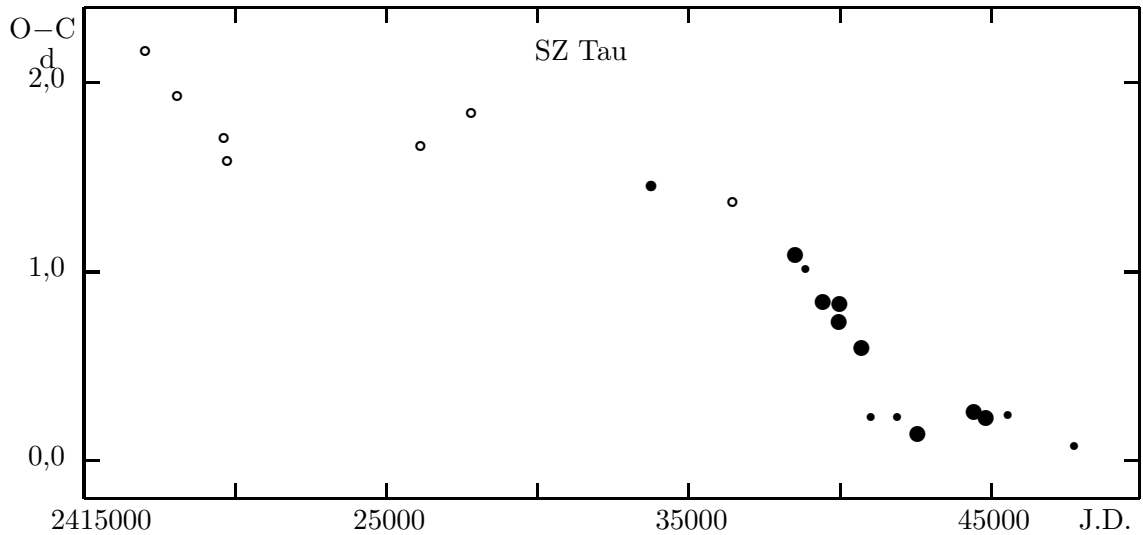
A fázisugrás, ill. alternáló periódus jelenségét a cefeidák pulzációjában én fedeztem fel (Szabados 1977, 1980, 1981), és a kandidátusi értekezés megvédése óta eltelt időben újabb csillagoknál mutattam ki e jelenség fellépését: FF Aql, YZ Car, BY Cas, DX Gem, X Lac, S Mus, U Sgr (Szabados 1989b, 1991, ill. még nem publikált eredmények). Ide tartozik még az S Vul alternáló periódusa is (Mahmoud és Szabados 1980). Ez utóbbi cefeidáról a közelmúltban derült ki a spektroszkópiai kettőshöz való tartozása (Gorynya és mtársai 1996a).

A fényidő-effektussal szemben ez nem látszólagos periódusváltozás, hanem a ce-

feida pulzációjának különös viselkedése. Eddig már majdnem húsz cefeida O–C-diagramjában találtam efféle periódusváltozást, akár hirtelen fázisugrás formájában (pl. SU Cygni), akár olyan formában, hogy egy átmeneti pulzációs periódus volt érvényben rövidebb-hosszabb ideig a korábbi pulzációs periódushoz való visszatérés előtt. Szemléltetésül itt két cefeida (X Lacertae és SZ Tauri) ilyen effektust mutató O–C-diagramja szerepel az 5.7 és 5.8 ábrákon. Az illesztett egyeneseket szándékosan nem tüntettem fel ezeken az ábrákon, hogy ne „vezessem” mesterségesen a szemet.



5.7 ábra Az X Lacertae O–C-diagramja. Az üres körök fotografikus észlelésekre utalnak, a fekete pontok fotoelektromos megfigyelések alapján születtek. A jelek mérete arányos az adat súlyával.



5.8 ábra Az SZ Tauri O–C-diagramja. Az üres körök fotografikus észlelésekre utalnak, a fekete pontok fotoelektromos megfigyelések alapján születtek. A jelek mérete arányos az adat súlyával.

Az egyre újabb esetek felfedezése után is igaz az a tézis, hogy a jelenség kizárólag kettős rendszerbe tartozó cefeidáknál jelentkezik, mintha a csillagfejlődésből származó periódusváltozás nem tudna érvényesülni a kísérő jelenléte miatt (*Szabados* 1992b). Minthogy a pulzáció a csillag légkörében zajló jelenség, a kísérő csillag gravitációs mezeje nem elhanyagolható hatást fejt ki az oszcilláló csillaglégkörre. Hogy voltaképpen mi játszódik le ilyenkor, arra még nincs kézenfekvő magyarázat.

A jelenség interpretálásához mindenesetre közelebb vihet *Kolláth Zoltán* és *Nuspl János* még nem publikált modellszámítása. Kollégáim a radiális pulzáció viselkedését követték nyomon a kísérő csillag hatásának figyelembevételével. Modelljeik némelyike valóban hirtelen fázisugrást eredményezett a pulzáció során.

5.5 Új kettősök az új módszerekkel

A 4.2 fejezetben ismertetett amplitúdó-módszerekkel azon kívül, hogy a már korábban felfedezett igen sok spektroszkópiai kettősre sikerült igazolni a cefeidához tartozó társcsillag létét, újabb kettősöket is ki lehetett mutatni (illetve néhány esetben csak gyanítani a kísérő jelenlétét).

Minden kétséget kizáróan kettősnek tekintendők azok a cefeidák, amelyeknél mindkét amplitúdó-módszer (AA és AIT) is kísérőt jelez. Öt olyan cefeida van, amelyre ez teljesül: UZ Cas, VW Cas, CR Cep, V495 Cyg és V520 Cyg (l. a II. táblázatot a Függelékben). A CR Cephei és a V520 Cygni kivételével a kísérők korai színképtípusúak. E 10–11 magnitúdós cefeidák színképét tehát érdemes alaposan megvizsgálni, hiszen jó esély van arra, hogy spektroszkópiai kettősöknek bizonyulnak és az ultraibolya tartományban (ugyancsak a CR Cep és a V520 Cyg kivételével) a kísérő uralja a spektrumot.

Nem férhet kétség azon cefeidák kettős rendszerbe való tartozásához sem, amelyeknél ugyan csupán az egyik amplitúdó-módszer jelez kísérőt, mert a másik módszer alkalmazásához sajnos vagy a radiálissebesség-adat, vagy az U-, ill. az R-fénygörbe hiányzik, de a meghatározható amplitúdó-paraméter szélsőséges értékét kizárólag kísérő csillag jelenléte okozhatja. Kirívóan alacsony a V526 Monocerotis és a V950 Scorpii AIT-értéke: 0,38 , illetve 0,39. A kék kísérő fotometriai hatását e számértéken kívül mindkét cefeida esetében jól mutatja, hogy a fényváltozás amplitúdója a kék és az ultraibolya sávban alig 0,01 magnitúdóval tér el egymástól (l. a Függelék I. táblázatát). Ilyen kis különbséget csak a V1334 Cygni jól ismert spektroszkópiai kettősnél lehet tapasztalni, amelynél a cefeida komponens kísérője B7-színképtípusú csillag. Az AIT formális hibája a szinte egyező U- és B-amplitúdók miatt nagyobb a megszokottnál. Ez nem a kísérő létét kérdőjelezi meg (ugyanis a V1334 Cygni AIT-jének formális hibája szintén ilyen nagy), hanem azt jelzi, hogy nem lehet egyszerűen kalibrálni az AIT és a két komponens közötti hőmérséklet- és luminozitáskülönbség kapcsolatát.

Az AA szélsőségesen nagy értéke alapján pedig az SY Normae és az AY Sagittarii kettős rendszerbe való tartozására lehet következtetni. Az AA 4.2 fejezetben tárgyalt kettősségjelző szerepének korlátai ellenére a megfigyelési adatok alapján e két cefeidánál csakis a kettősség jöhet szóba az anomálishan nagy AA-érték magyarázataként. A fényességváltozás B-amplitúdójából nyilvánvaló, hogy sem az

SY Nor, sem az AY Sgr nem s-cefeida (l. I. táblázat). Az AA-érték (63,1, ill. 52,3) nagyságához a kísérő fotometriai hatásán kívül a fel nem ismert orbitális hatás is hozzájárulhat. Ilyen volt korábban a BY Cassiopeiae esete (*Szabados* 1993c), amelynek spektroszkópai kettős voltát a későbbi színképi megfigyelések meg is erősítették (*Gorjnya* és társai 1995a), és a II. táblázatban most már a keringési effektus szeparálása után megmaradt pulzációs eredetű radiális sebesség-amplitúdó alapján meghatározott AA-érték szerepel. Megfelelő spektroszkópai vizsgálatok után az SY Nor és AY Sgr AA-értéke is valószínűleg csökkenni fog – a kísérő közvetlen színképi kimutatásával egyidejűleg.

A fenti biztos eseteken kívül van néhány olyan cefeida is, amelynél vagy az AA, vagy az AIT értéke alapján gyanítható a kísérő léte, de a kettősséget csak más, független módszerrel történő megerősítés után lehet biztosra venni. Ilyen tekintetben további tanulmányozásra érdemes cefeidák: V336 Aql, CY Aur, CT Cas, AY Cen, X Cyg. Ezek mindegyike nagy fotometriai amplitúdóval pulzál, tehát nem s-cefeida.

5.6 A kettős cefeidák infravörös excesszusa

Deasy és *Butler* (1986) szerint a cefeidákra jellemző szűk hőmérséklet-tartományban az IRAS két rövidebb hullámhosszú sávjában mérhető fluxusok aránya $F(25\mu\text{m})/F(12\mu\text{m}) = 0,25$. A cirkumsztelláris anyag vagy a kísérő csillag hatása (vörös kísérő esetén magának az alacsonyabb hőmérsékletű másodkomponensnek hosszú hullámhosszú sugárzása, kék kísérő esetén pedig a forró csillag légkörében a szabad-szabad átmenetnek megfelelő sugárzás) ezt a hányadost megnövelheti, ami infravörös többletsugárzásként észlelhető egy közönséges cefeida infravörös viselkedéséhez képest.

Az IRAS pontforrás-katalógusában szereplő cefeidák 25 és 12 μm -en mért fluxusát vizsgálva arra a megállapításra jutottam (*Szabados* 1986), hogy a kettős cefeidákra vonatkozóan az $F(25\mu\text{m})/F(12\mu\text{m})$ arány szisztematikusan nagyobb, mint a kísérő nélküli cefeidákra. Az effektus kimutatása azonban kevés csillag alapján történt. A hosszú periódusú cefeidák infravörös viselkedését pedig a nagyobb tömegükből következő gyorsabb ütemű fejlődés is befolyásolja, ami ez esetben nagyobb mértékű tömegvesztésben, azaz több cirkumsztelláris anyag jelenlétében nyilvánul meg. Az infravörös többletsugárzásból tehát helytelen lenne a cefeida kettősségére következtetni, de fontos kiegészítő információ a csillag körüli térségben uralkodó viszonyokkal kapcsolatban.

A cefeidák kettőssége és az infravörös tartományban tapasztalható tulajdonságaik közötti kapcsolat mindenesetre további vizsgálatra érdemes kutatási terület. Az IRAS-adatok elemzésével foglalkozó közleményem (*Szabados* 1986) megjelenése után *Douglas L. Welch* levélben jelezte, hogy ő is hasonló következtetésre jutott, de a cefeidák IRAS-fluxusainak mélyebb analízisét azóta sem végezte el senki.

6. A Hipparcos asztrometriai mesterséges hold méréseiből meghatározott cefeida-parallaxisok és a cefeidák kettőssége

6.1 Cefeidák a Hipparcos programjában

Az első kifejezetten asztrometriai célú mesterséges hold az európai űrprogram részeként felbocsátott Hipparcos volt. Az ESA keringő obszervatóriumának szellemes elnevezése utal a hold fő feladatára (*High Precision PARallaxCOLlecting Satellite*) és tisztelgés Hipparkhosz (i.e. 2. század) emléke előtt, akinek pozíciós csillagászati munkássága meghatározó jelentőségű volt a csillagászat fejlődése szempontjából. A Hipparcos méréseiből azonban nemcsak a csillagok parallaxisát határozták meg, hanem még négy további asztrometriai paramétert is: a programon szereplő égitest pozícióját (rektaszcenzió és deklináció), valamint a sajátmozgását a két koordinátairány mentén.

Az 1989 és 1993 között működött Hipparcos-hold részletes bemutatására (a mérés elve, a feldolgozás módszerei, eredmények stb.) itt nem térek ki, mindezekről részletes ismertetés található az ESA (1989, 1997) kiadványaiban.

Bár a Hipparcos katalógusának megjelenésével a hold összes mérési adata hozzáférhetővé vált minden kutató számára, a cefeida-parallaxis adatokhoz már a nyilvánossá tételt megelőzően hozzájuthattam, mivel az általam benyújtott tudományos programot még a nyolcvanas évek közepén felvették a Hipparcos kutatási témái közé. (Nagyra értékelendő az ESA azon gesztusa, hogy nem ESA-tagállamból érkezett pályázatot is elfogadtak.)

Mint az alábbiakból kiderül, a Hipparcos által mért cefeidákkal kapcsolatos eredmények szintén a cefeidák kettősségének fontosságára világítanak rá. A kettősség hatásának figyelembevétele már a Hipparcos-projekthez benyújtott pályázatomban is szerepelt, és e tekintetben egyedülálló volt a cefeidák parallaxisát vizsgálni szándékozó kutatási tervek között.

Amint az a 2.3.7 fejezetben szereplő rövid összefoglalásból is kitűnik, a cefeidák távolságának pontos ismerete alapvető az univerzum távolságskálájának meghatározásában, s ezen keresztül a Hubble-állandóra és a univerzum életkorára vonatkozó értékek megállapításakor is. A Hipparcos eredményeit közvetlenül megelőző helyzetről jó áttekintést ad *Trimble* (1997) cikke.

A cefeidák periódusa és abszolút fényessége közötti összefüggésnek a Hipparcos adatain alapuló kalibrálásához az 1 kiloparszekon belüli cefeidákat választottam ki. A programcsillagok listájának összeállításakor *Fernie* és *Hube* (1968) katalógusában közölt távolságértékekre támaszkodhattam. Hogy a relatív pontosság minél jobb legyen, az 1 kiloparszekes határhoz közel található cefeidák közül több csillagot elhagytam, így végül 29 cefeida maradt az általam vizsgált mintában. A Hipparcos egyébként kétszáznál több cefeidára vonatkozóan végzett méréseket.

6.2 A cefeidák távolsága és luminozitása a Hipparcos alapján

Az egyes csillagok abszolút fényességét a csillagközi fénygyengítésre és a kísérő csillagok hatására vonatkozó korrekciók elvégzése után lehet megkapni a cefeida látszó fényességéből, valamint a Hipparcos-parallaxisból:

$$M_V = \langle V \rangle + 5 + 5 \times \log \pi - A$$

Itt M_V a V-sávban érvényes abszolút fényesség, $\langle V \rangle$ a cefeida egy pulzációs ciklusára vett átlagfényesség, π az ívmásodpercben mért parallaxis, A pedig a csillagközi abszorpció miatt szükséges korrekció magnitúdóban.

Tekintettel arra, hogy a cefeidák között a kettősök és a többszörös csillagok előfordulása a Tejútrendszerben érvényes átlagos értéknek felel meg, vagyis meghaladja az 50 százalékot (l. az 5. fejezetet), a kísérő csillagok jelenlétéből származó fénytöbbletet is figyelembe kell venni a cefeida látszó fényességének meghatározásakor, hogy a P–L reláció kalibrálása valóban pontos legyen. A cefeidák társcsillagainak hatását eleve el szokták hanyagolni, pedig – mint az alábbiakban látható – vannak olyan esetek, amelyeknél az emiatt szükséges korrekció értéke eléri a néhány tized magnitúdót.

A kísérő csillag miatt szükséges korrekció két részből áll:

- a társcsillag által okozott fénytöbblet levonásából;
- a színexcesszus korrekciójából, ami a cefeidáétól eltérő hőmérsékletű kísérő esetén lényeges (a színexcesszus ugyanis az abszorpciós korrekciót befolyásolja).

A kettősségi korrekciót az alábbiakban a Johnson-féle fotometriai rendszer V-magnitúdójára végezzük el. A színexcesszus (a mért és a vörösödésre korrigált színindex különbsége) az egyes cefeidákra *Fernie* (1990a) táblázatából származik. A V-sávban bekövetkező elnyelés az $R = A_V/E_{B-V} = 3,2$ szorzótényezővel számítható ki a színexcesszusból. (A teljes és szelektív abszorpció arányának helyfüggésétől itt eltekintünk, de a pontosság fokozásának egyik nyilvánvaló módja az R különkülön történő meghatározása az egyes cefeidák környezetében levő csillagok részletes vizsgálata alapján).

A kísérő csillag színképtípusának ismeretében *Lang* (1991) táblázataiból kiszámítható, hogy a kísérő mennyivel torzítja el a cefeida V és $B - V$ magnitúdóját. A cefeida látszó fényességét $\delta V - 3,2 \times \delta(B - V)$ értékkel kell módosítani. Magas hőmérsékletű kísérők (pl. S Muscae, V1334 Cygni) esetén e korrekció értéke akár a $-0,3$ magnitúdót is elérheti. A0-nál későbbi színképtípusú kísérő viszont nem igényel 0,05 magnitúdót meghaladó korrekciót.

A P–L reláció új kalibrálásához használt cefeidák fontosabb adatai a 6.1 táblázatban találhatóak. E táblázat oszlopai rendre a következő adatokat tartalmazzák:

- a cefeida neve;
- a Hipparcos méréseiből meghatározott parallaxis, valamint annak standard hibája ezred ívmásodpercben (ESA 1997);
- a napokban mért pulzációs periódus logaritmus;

- a parallaxisnak megfelelő távolság parszekben;
- az adott cefeida szakirodalomban elfogadott távolsága (*Fernie* és mtársai (1995) adatbázisából);
- az E_{B-V} ugyanebből az adatbázisból;
- a Hipparcos-parallaxisból az imént leírt módon kapott abszolút fényesség.

A $\log P$ oszlopában levő * első felhangban pulzáló cefeidát jelent. E csillagokra a kétmódusú cefeidák alapján megállapított $P_1/P_0 = 0,7$ összefüggésből lehet hozzárendelni az alaprezgésnek megfelelő pulzációs periódust, aminek a P–L összefüggésben szerepelnie kell.

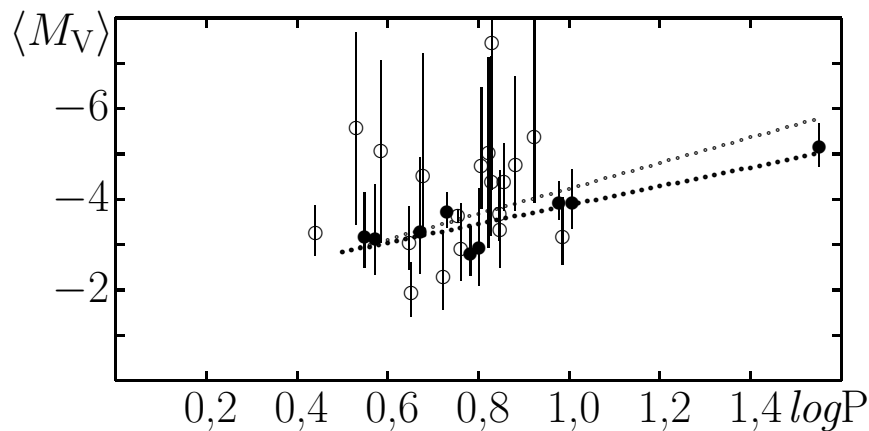
6.1 táblázat. A Hipparcos-projektben általam vizsgált cefeidák adatai

cefeida	π [mas]	σ [mas]	$\log P$	d_{HIP} [pc]	d_0 [pc]	E_{B-V} [mag]	$\langle M_V \rangle$ [mag]
U Aql	2,05	0,93	0,847	488	594	0,399	−3,32
FF Aql	1,32	0,72	0,650*	758	358	0,224	−4,74
η Aql	2,78	0,91	0,856	360	266	0,149	−4,38
RT Aur	2,09	0,89	0,572	478	426	0,051	−3,12
l Car	2,16	0,47	1,551	463	602	0,170	−5,15
SU Cas	2,31	0,58	0,290*	433	265	0,287	−3,25
V Cen	0,05	0,82	0,740	20000	721	0,289	−10,59
δ Cep	3,32	0,58	0,730	301	250	0,092	−3,73
AX Cir	3,22	1,22	0,722	311	551	0,153	−2,28
S Cru	1,34	0,71	0,671	746	706	0,163	−3,29
T Cru	0,86	0,62	0,828	1160	823	0,193	−4,38
SU Cyg	0,51	0,77	0,585	1960	780	0,096	−5,06
DT Cyg	1,72	0,62	0,398*	581	401	0,039	−3,17
V1334 Cyg	0,93	0,66	0,523*	1070	523	−0,035	−4,53
β Dor	3,14	0,59	0,977	319	343	0,044	−3,93
ζ Gem	2,79	0,81	1,006	358	395	0,018	−3,91
S Mus	2,00	0,65	0,985	500	880	0,147	−3,18
S Sge	0,76	0,73	0,923	1320	663	0,127	−5,38
U Sgr	0,27	0,92	0,829	3700	647	0,403	−7,44
W Sgr	1,57	0,93	0,881	637	414	0,111	−4,76
X Sgr	3,03	0,94	0,846	330	331	0,197	−3,67
Y Sgr	2,52	0,93	0,761	397	505	0,205	−2,90
BB Sgr	0,61	0,99	0,822	1640	854	0,284	−5,03
SZ Tau	3,12	0,82	0,498*	321	451	0,294	−1,94
R TrA	0,43	0,71	0,530	2330	633	0,127	−5,58
S TrA	1,59	0,72	0,801	629	838	0,100	−2,92
α UMi	7,56	0,48	0,599*	13	97	−0,007	−3,63
AH Vel	2,23	0,55	0,626*	448	498	0,074	−2,80
T Vul	1,95	0,60	0,647	513	533	0,064	−3,04

A vizsgált minta alapján kapott P–L diagram a 6.1 ábrán látható (a V Cen nincs feltüntetve az ábrán). A várt kis dőlésű egyenes mentén fekvő pontok helyett

azonban a cefeidákat reprezentáló pontok szerteszét helyezkednek el, mintha nem is létezne összefüggés a vizuális abszolút fényesség és a pulzációs periódus között.

A különleges viselkedésre azonban kézenfekvő magyarázat adható, melynek szemléltetésére a cefeidákat két csoportra osztottam: a belül üres körök a kettős (vagy többszörös) rendszerbe tartozó cefeidákat jelölik, a belül fekete körök a kísérő nélküli cefeidákat. Megnyugtató, hogy a magányos cefeidák az előre várt (és más módszerek alapján már meg is kaptak) eloszlást mutatják. A kettős cefeidák nagy eltérése a korábbi P–L relációk által előírt pozíciótól viszont egyszerűen megmagyarázható. Ez utóbbiakra a Hipparcos méréseiből meghatározott parallaxis nem felel meg a csillag igazi parallaxisának, mivel a cefeida pálya menti (a kettős rendszer tömegközéppontja körüli) elmozdulásának figyelmen kívül hagyásával a parallaxis meghamisítódik. Ne felejtjük el, hogy a Hipparcos fedélzeti műszerei ezer napnál valamivel hosszabb ideig végezték a méréseket, és a kettős cefeidák keringési periódusa zömmel ugyanebbe a nagyságrendbe esik.



6.1 ábra. A közeli cefeidák vizuális abszolút fényessége a Hipparcos-parallaxisok alapján a pulzációs periódus logaritmusának függvényében. A fekete körök a kísérő nélküli cefeidákat jelölik, az üres körök a kettős vagy többszörös rendszerbe tartozó cefeidákat. Az enyhébb dőlésű, kövér pontok által kirajzolt szakasz a magányos cefeidák alapján meghatározott periódus – abszolút fényesség reláció. A felette levő, apró pontokkal jelölt reláció a *Feast* és *Catchpole* (1997) által kapott összefüggést reprezentálja. A hiba mértékét minden cefeidánál bejelöltem. A Hipparcos Katalógus (ESA 1997) által közölt hiba azonban irreálisan nagy a kettős rendszerbe tartozó cefeidákra: a pálya menti mozgás elhanyagolása (fel nem ismerése) a mérés formális hibáját növeli.

Annak igazolására, hogy a keringésből származó elmozdulás hatással lehet a trigonometriai parallaxis értékére, a mintában szereplő kettős cefeidák fontosabb adatait a 6.2 táblázatban mutatom be. E táblázat egyes oszlopai rendre a következő információkat tartalmazzák:

- a cefeida neve;
- a kísérő színképtípusa (a > jel arra utal, hogy a másodkomponensnek nincs nyoma az IUE által készített színképben, ezért színképtípusa későbbi a táblázatban megadott értéknél, de maga a kettősség már bizonyítást nyert a radiális sebesség pulzációtól származó változására rakódó orbitális eredetű változás alapján);
- utalás a kísérő színképtípusát közlő cikkekre;

- a keringési periódus értéke napban megadva (vagy ha az még nem ismert, SB rövidítés utal arra, hogy a cefeidáról már megállapították a spektroszkópai kettőshöz való tartozást);
- a pálya fél nagytengelye $a \times \sin i$ vetületének értéke csillagászati egységben (a szakirodalomból vett pályaadatokból);
- utalás a pályát vagy a spektroszkópai kettősséget meghatározó közleményre;
- a vetületi pálya látszó szögmérete az ismert pályaelemekből és a Hipparcos előtti távolságból számítva;
- a kísérő fényessége miatt szükséges δV korrekció;
- a cefeidáétól eltérő hőmérsékletű kísérő miatt szükséges $\delta(B - V)$ korrekció.

Az egyszerűség kedvéért a kettőnél több komponensből álló rendszereket (pl. SU Cygni, W Sagittarii) kettőscillagnak tekintettem. Említésre érdemes, hogy a Hipparcos Katalógusban (ESA 1997) e mintából csak nyolc cefeida kettősségére van utalás, és ezek között található a δ Cephei és a ζ Geminorum, amelyek csupán optikai kettősök.

6.2 táblázat. Az 1 kpc-en belüli kettős cefeidák

cefeida	kísérő	ref.	P_{orb} [d]	$a \times \sin i$ [AU]	ref.	pálya [mas]	δV [mag]	$\delta(B - V)$ [mag]
U Aql	B9,8V	1	1856,4	1,31	9	1,5	0,021	0,022
FF Aql	A9V-F3V	2	1429,7	0,66	2	1,8	0,005	0,001
η Aql	B9,8V	3					0,027	0,015
SU Cas	B9,5V	3	SB		10		0,109	0,072
AX Cir	B6,0V	4	SB		11		0,113	0,102
T Cru	>A2	5	SB		12			
SU Cyg	B8,0V	6	549,2	1,42	13	1,8	0,087	0,074
V1334 Cyg	B7,0V	6	SB		14		0,144	0,115
S Mus	B3,5V	7	505,4	0,68	15	0,8	0,098	0,134
S Sge	A7V-F0V	6	676,0	0,92	16	1,4	0,003	0,002
U Sgr	>A3	5	SB		17			
W Sgr	A0V	3	1780	0,33	18	0,8	0,019	0,020
X Sgr	>A0	5	SB?		19			
Y Sgr	>A2	5	SB		20			
BB Sgr	>A0	5	SB		21			
SZ Tau	>A1	5	SB?		10			
R TrA	>A5V	6	SB		21			
α UMi	>A1	5	10969	3,22	22	33,2		
T Vul	A0,8V	8					0,027	0,020

A 6.2 táblázat 3. és 6. oszlopában a következő hivatkozásokra történt utalás: 1. Evans (1992b); 2. Evans et al. (1990b); 3. Evans (1991); 4. Evans (1994); 5. Evans (1992a); 6. Evans (1995a); 7. Evans et al. (1994); 8. Evans (1992c); 9. Welch et al. (1987); 10. Gorynya et al. (1996b); 11. Lloyd Evans (1971); 12. Kovács et al. (1990); 13.

Evans (1988); 14. Szabados (1991); 15. Evans (1990); 16. Breittellner és Gillet (1994); 17. Bersier et al. (1994); 18. Babel et al. (1989); 19. Szabados (1990a); 20. Szabados (1989b); 21. Gieren (1982); 22. Kamper et al. (1984);

A 6.1 és 6.2 táblázat megfelelő oszlopainak összehasonlításából kitűnik, hogy a cefeidák pálya menti mozgásából származó szögelfordulás a legtöbb esetben meghaladhatja a parallaktikus szöget. Mivel a kettős rendszerhez való tartozó cefeidák keringési periódusa a Hipparcos működési időtartamának nagyságrendjébe esik, a kettősség meghamisítja a Hipparcos adataiból a magányos csillagokra vonatkozó módszerrel meghatározott trigonometriai parallaxist. Közvetve ezt igazolja az a tény is, hogy akad két olyan kettős cefeida is a mintában, amelyek a „megfelelő” helyen találhatók a 6.1 ábrán a $\log P - \langle M_V \rangle$ diagramban: az α Ursae Minoris (a Polaris), amelynek 30 év hosszúságú a keringési periódusa, és az Y Sagittarii, amely szintén több évtized alatt halad körbe egyszer a pályáján; vagyis a Hipparcos aktív időszaka alatt a pályájuknak csak kis részét járták be, ami legfeljebb a sajátmozgás helytelen meghatározását idézi elő.

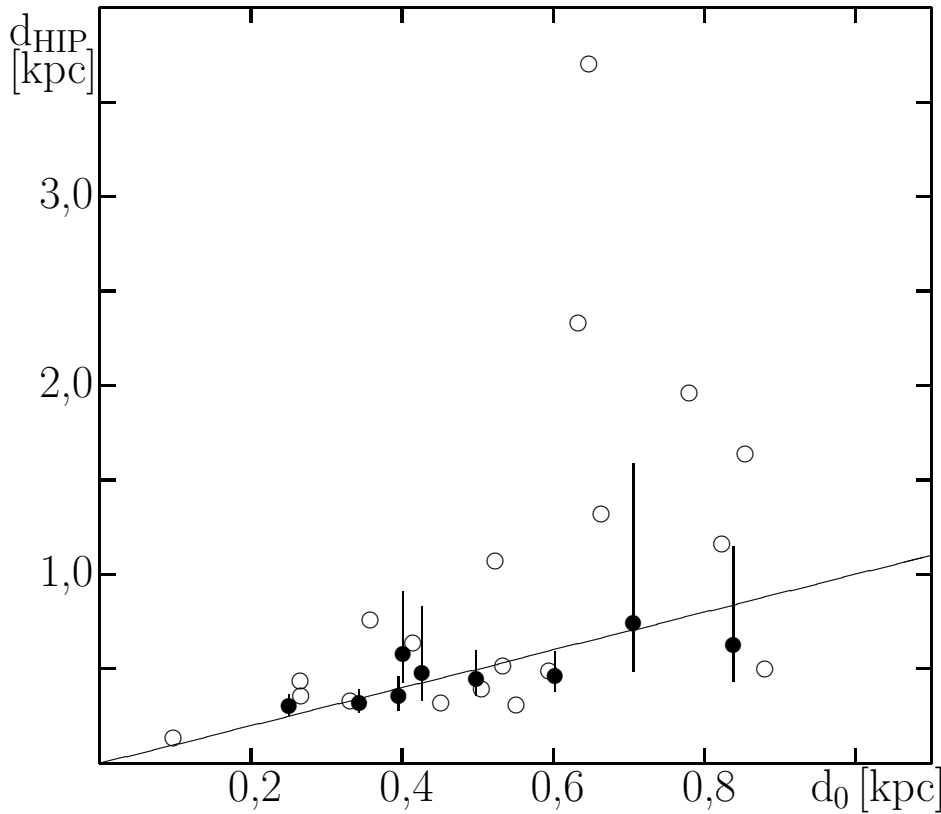
Tovább erősíti a fenti magyarázatot az a tény, hogy a kettős cefeidákra meghatározott Hipparcos-parallaxis relatív hibája (0,79) több mint kétszerese a magányos cefeidák parallaxisára számított relatív hibának (0,32). Ekkora eltérés a hibák között nem indokolható a kb. fél magnitúdónyi eltéréssel az átlagfényességben. Az irreálisan nagy hiba magyarázata az, hogy a pálya menti elmozdulást a mérések redukálása során járulékos hibaforrásként kezelték.

Ugyancsak az eddigieket támasztja alá a Hipparcos méréseiből meghatározott koordináták pontossága közötti eltérés: a kettős cefeidák koordinátáinak hibája szisztematikusan nagyobb, mint a kísérő nélkülüké.

Az nem feltétlenül teljesül, hogy a pálya menti elmozdulás által torzított parallaxisú cefeidát spektroszkópiai kettősként lehet megfigyelni. A pálya hajlásszöge (és excentricitása) lényeges tényező e tekintetben. Ha a pálya az éggömb érintősíkjába esik (az inklináció nulla fok), a kettősség nem érzékelhető a radiális sebesség alapján, de a pálya menti mozgás ilyenkor zavar a leginkább a parallaxis meghatározásánál. Az U Sagittarii esete jó példa az inklináció szerepére: az U Sgr kísérőjét spektroszkópiai úton már kimutatták, de a radiális sebesség keringésből származó változása csekély, míg e csillag Hipparcos-parallaxisából elfogadhatatlanul nagy luminozitás adódik. Ez azzal magyarázható, hogy az U Sgr pályájának inklinációja nem nagyon tér el a nulla foktól.

Azt szemléltetendő, hogy a kettős cefeidák furcsa viselkedését a P–L diagramon nem a kettősség miatt szükséges magnitúdókorrekció (ill. annak esetleg hibás meghatározása) idézi elő, hanem az a helytelen parallaxisnak tudható be, a 6.2 ábrán a Hipparcos-parallaxisok alapján számított távolságot (d_{HIP}) ábrázoltam a Hipparcos előtti cefeidatávolságok (d_0) függvényében. A 6.2 ábrán szereplő jelölések megegyeznek a 6.1 ábránál alkalmazottakkal. A $d_{\text{HIP}} = d_0$ egyenes meredeksége az ábrán nem 45 fok, mert a függőleges skála a kényelmes ábrázolhatóság kedvéért össze van nyomva. Ismét kitűnik, hogy a magányos cefeidákra a Hipparcos-féle parallaxis alapján meghatározott távolság jól egyezik a korábbi módszerekkel kapott távolsággal, míg a kettős rendszerbeli cefeidák távolságára helytelen érték adódik a

pálya menti mozgás figyelmen kívül hagyása miatt.



6.2 ábra. A Hipparcos alapján meghatározott cefeidatávolságok összehasonlítása a Hipparcos előtti értékekkel (mindkét skála kiloparszekben van). A jelölések megegyeznek a 6.1 ábránál alkalmazottakkal. Az ábrát átszelő egyenes szakasz a $d_{\text{HIP}} = d_0$ azonosságot reprezentálja. Az előző ábrához hasonlóan a kettős cefeidák itt is rendkívül nagy tartományban szórnak.

Itt kell megemlíteni, hogy a teljes Hipparcos-adatbázishoz való hozzáférés során ellenőrizhető, hogy az effektus jelentkezik-e az 1 kpc körüli vagy annál távolabbi cefeidáknál is. (A távolság növelésével a parallaxis és a kettőscsillag pályájának látszó szögátmérője azonos ütemben csökken). A részletes elemzés ugyan még hosszabb időt vesz igénybe, de a korábbiakat alátámasztó fontos ténynek tekinthető, hogy négy, valójában 900 parszek körüli távolságra levő cefeidára (AP Sgr, V350 Sgr, V636 Sco, X Vul) a Hipparcos Katalógusban (ESA 1997) negatív parallaxis szerepel. E négy cefeida mindegyike kettős rendszerbe tartozik, de csak a V350 Sgr és a V636 Sco keringési periódusa ismert (1470, ill. 1318 nap – *Evans és Sugars* 1997, és *Gorynya és mtársai* 1996a, ill. *Lloyd Evans* 1982 mérései szerint). A negatív parallaxis arra utal, hogy a csillag látszó elmozdulása nem a parallaktikus mozgásnak (plusz az egyenes vonalú sajátmozgásnak) felel meg (*Szabados* 1997d).

A kilenc magányos cefeida alapján egyébként a következő periódus – abszolút fényesség reláció adódik:

$$\langle M_V \rangle = -2,08 \times \log P - 1,80 \\ \pm 0,43 \quad \pm 0,38$$

Ennek pontossága azonban jóval alatta marad a nagyobb számú cefeida alapján meghatározott relációkénak. Különösen a hosszú periódusú cefeidák hiányoznak ebből a mintából. A rövid (3–5 nap közé eső) pulzációs periódusú cefeidák abszolút fényessége teljesen megegyezik az asztrofizikai módszerekkel kapott értékekkel. Ez arra utal, hogy a jelenleg használt cefeida-távolságskála alapján helyes, de annak pontossága tovább fokozható. Ennek érdekében elsősorban a vizsgálatba vonható cefeidák számának növelése kívánatos, és ebben a tekintetben a kettős rendszerben található cefeidák elsődleges fontosságúak.

A Hipparcos-projekt keretében végzett másik cefeida-vizsgálat eredményeképpen *Feast* és *Catchpole* (1997) a közelmúltban publikálta az újonnan kalibrált periódus – abszolút fényesség összefüggést. Ők az egyenes iránytangensére a Nagy Magellán Felhőre vonatkozó értéket fogadták el, és a Hipparcos-parallaxisokat csak a nullapont illesztésére használták. Így a következő formulát kapták:

$$\langle M_V \rangle = -2,81 \times \log P - 1,43 \pm 0,10$$

Említést érdemel, hogy a kísérő csillag nyilvánvaló fotometriai hatása miatt az AX Circinis és az AW Perseit kirekesztették a vizsgálatból. A többi kettősnél a kísérő hatásának nem tulajdonítottak jelentőséget, és a Hipparcos-parallaxisok furcsa értékére nem figyeltek fel. Az újonnan kalibrált összefüggés alapján *Feast* és *Catchpole* a kozmikus távolságskála tíz százalékos megnyújtását javasolta.

Ha az őáltaluk követett módszerrel kizárólag a kilenc magányos cefeida alapján határozom meg a reláció nullapontját, az $-1,17 \pm 0,39$ értékűnek adódik egyenlő súllyal véve valamennyi parallaxist, míg $-1,19 \pm 0,16$ az eredmény a standard hiba négyzetének reciprokával arányos súlyozás esetén. Látszik, hogy a súlyozás mikéntje nem változtat az eredményen: a magányos cefeidák alapján nem indokolt nagyobb értéket tulajdonítani a cefeidák luminozitásának.

6.3 A cefeidák parallaxisának pontos meghatározására irányuló törekvések

A cefeidák kettősségének a trigonometriai parallaxisra gyakorolt kedvezőtlen hatására a Hipparcos asztrofizikai eredményeit bemutató első nemzetközi konferencián már felhívtam a figyelmet (*Szabados* 1997c). A cefeidák parallaxisa kapcsán felfedezett jelenség arra utal, hogy a Hipparcos jóval érzékenyebb volt a nominálisan megadott egy ezred ívmásodpercnél. Az ún. közbülső asztrometriai adatok újraredukálásával az öt asztrometriai paraméter mellett a cefeida látszó égi pályája is meghatározható (sőt, több esetben egyes pályaelemek, mint pl. a keringési periódus, már bemenő paraméterként veendő figyelembe).

Ez a lehetőség felkeltette a Hipparcos-projekt tudományos vezetőinek érdeklődését is. *Jean Kovalevsky* (CERGA, Grasse, Franciaország) ígéretet tett, hogy az általam javasolt cefeidákra vonatkozó méréseket újra redukálják a szintén tőlem kapott kiegészítő (a kettősséggel kapcsolatos) adatok figyelembevételével. *Roland Wienen* (Astron. Recheninst., Heidelberg, Németország) pedig ugyanezekre a csillagokra megvizsgálja, hogy az általa felismert ún. VIM-effektus (variability-induced motion) hatása mennyire számottevő. Mivel a cefeidák szuperóriás csillagok, kísérőjük lumi-

noztása pedig sokkal kisebb, az ún. fotocentrum helyzetét a kísérő járulékos fénye aligha befolyásolja számottevően. Mindenesetre a téma szakértője önként ajánlotta a vizsgálat elvégzését.

A cefeidák parallaxisának kettősség általi torzítása azért mutatható ki egyáltalán, mert a cefeidák parallaxisa más (asztrofizikai) módszerek alapján már ismert. Biztosra vehető, hogy a korábbról nem ismert parallaxisú többi Hipparcos-programcsillag között sok olyan akad, amelynek parallaxisát a kísérő csillag hasonló ok miatt torzítja.

A probléma igazi megoldását a következő évtizedre tervezett ezred ívmásodperces pontosságú asztrometriai programok jelentik majd. A már említett velencei Hipparcos-konferencián három ilyen űrprogram előkészítéséről számoltak be: egy német és egy japán mesterséges holdon kívül az ESA a GAIA (a *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics* rövidítésből) nevű hold fellövését tervezi, amely kb. 15 magnitúdós határig 50 millió csillag parallaxisát határozza majd meg 10 milliomod ívmásodperc – ma még szinte hihetetlennek tűnő – pontossággal. Mindenesetre erre még legalább egy évtizedet kell várni.

Talán a kettős cefeidák kínálta ígéretes vizsgálati irány is hozzájárul ahhoz, hogy az illetékesek meg tudják szerezni a GAIA-misszió megvalósításához szükséges anyagi eszközöket.

7. A kutatás további lehetséges irányai

A dolgozatban bemutatott eredmények legnagyobbbrészt nem tekinthetők az adott kutatás lezárásának, hanem inkább további vizsgálatra ösztönöznek, amelyeket részben magam, részben magyar és külföldi kollégákkal együtt kívánok véghez vinni. Talán nem igényel különösebb indoklást, hogy a tudományos közlésnél nem mindig érdemes (sokszor nem is lehet) megvárni a végleges és megfellebezhetetlen eredmények megszületését, hiszen a kutatás is a versenyszféra részévé vált, továbbá a szakmai visszajelzés és kölcsönhatás hatékonyabban húzza előre a tudomány szekerét, mint a visszahúzóadás közepette végzett bármilyen elmélyedt munka és gondolkodás.

Az általam bevezetett amplitúdóparaméterekkel kapcsolatos eredmények publikálását azért is halogattam, mert minduntalan újabb megfigyelési adatok váltak publikussá, így az adatbázist és a diagramokat is bővíteni lehetett. Ez a kedvező állapot azonban továbbra sem változik, ezért a már rendelkezésre álló adatokat a dolgozat írásával egyidejűleg publikálásra is előkészítem.

A másik nagy terület, ahol a publikálással le vagyok maradva, a TU Cassiopeiae és a BQ Serpentis kétmódusú cefeidák hazai fotometriai adatainak részletes elemzése és közzététele. Itt is az a késedelem fő oka, hogy a legutóbbi évtizedben *Leonid Berdnikov* évről évre újabb adatokat publikál, és a saját adataimat ezekkel összehasonlítva érdemes vizsgálni (két évtized különbség van a két adatsor között, ami az esetleges hosszú időskálájú változások kimutatását is lehetővé teszi).

Az alábbiakban azokat a tervezett munkákat vázolom, amelyeket a közeljövőben szeretnék végrehajtani a dolgozatban ismertetett eredményekre alapozva.

A hazai megfigyelési lehetőségek figyelembevételével folytatni kívánom a kettős rendszerbe tartozó cefeidák UBV-fotometriáját, amit remélhetőleg ki lehet terjeszteni a hosszabb hullámhosszú R és I sávokra is. E csillagoknál a fényidő-effektus vagy a fázisugrás kimutatása az elérendő cél. A többszín-fotometria pedig a cefeida és a másodkomponens közötti hőmérséklet- és luminozitáskülönbségre vonatkozóan nyújt fontos információt.

A kettősség szempontjából nem vizsgált egyéb cefeidákról a szakirodalomban publikált kellő mennyiségű fotometriai adat birtokában szintén érdemes az O–C-diagramot elkészíteni, hátha a periódusváltozás utal a korábban nem sejtett kísérőre. A másodkomponenst ezután közvetlen spektroszkópiai megfigyeléssel kell kimutatni.

Radiálissebesség-mérések végzésére a *N. Samus*, ill. *F. Pont* vezette csoportok munkájába kapcsolódva nyílik lehetőség. Itt elvi korlát nincs, csak finansziális. A kék kísérőket pedig ultraibolya színeképekből lehet kimutatni. Ilyen projekt talán megvalósítható a közeljövőben felbocsátandó Spektrum–Röntgen–Gamma mesterséges hold műszereivel (erre vonatkozóan már időben jeleztem a hold tudományos programjában való részvételi szándékomat).

Az amplitúdóparaméterek alapján talált új kettős cefeidák nagyfelbontású spekt-

roszkópiáját a CaII H+K vonal környezetében *Vinkó József* végzi ez év őszén a torontói David Dunlap Observatory spektrográfiával. A cél e csillagoknál a kék kísérő kimutatása *Evans* (1985) módszere alapján. (A kék kísérőtől származó He vonal egybemosódik a cefeida CaII H vonalával, így a CaII H vonalban az abszorpció erősebbnek tűnik, mint a CaII K vonalában. Kísérő nélküli cefeidánál a K abszorpció vonal erősebb, mint a H.)

Magukkal az amplitúdóparaméterekkel kapcsolatban a további feladatok több irányúak. A 4. fejezetben bevezetett amplitúdó-iránytangens esetében a magányos cefeidák alapján meghatározandó az AIT pulzációs periódustól való függése, és azt is érdemes megvizsgálni, hogy hogyan függ az AIT normálértékétől való eltérés a cefeidának az instabilitási sávban való elhelyezkedésétől (vagyis a csillagközi vörösödésre korrigált színindextől). Csak ezután kerülhet sor a kettős cefeidákra vonatkozóan a kísérő által okozott AIT-beli eltérés kalibrálására, illetve az AIT értékéből a kísérő csillag színképtípusának meghatározására. Ugyancsak érdemes elvégezni az irodalomban univerzális értékűnek tekintett A_V/A_B hányados periódusfüggésének kalibrálását.

Az AA-val jelölt amplitúdóarányt illetően a következő feladatok jönnek szóba:

- Az AA periódustól való függésének alaposabb vizsgálata az időközben publikálásra kerülő pontos radiálissebesség-mérések figyelembevételével. Az újabb pulzációs modelleket aszerint kell megalkotni, hogy az AA folyamatosan csökken-e a pulzációs periódus hosszabb értékeire, vagy pedig a 10–11 napos határnál rövidebb, illetve hosszabb periódusú, alaprezgést végző cefeidák egymástól eltérő, de az adott periódustartományra vonatkozóan állandó AA-értékkel jellemezhetők.

- A módusazonosítás és a kísérő léteire utaló effektus szeparálása. Az első felhangban pulzáló cefeidák magasabb AA-értéke miatt csak akkor lehet e paraméter nagy értékéből a kettősségre következtetni, ha maga a pulzációs módus valamiképpen meghatározható. A beat cefeidák két gerjesztett módusa már a periódusarányból is azonosítható, de az egyetlen periódussal pulzáló cefeidáknál még nincs univerzálisan használható módszer erre vonatkozóan. A fénygörbe Fourier-összetevőire való felbontásából kapott A_{i1} és ϕ_{i1} paramétereknek a pulzációs periódustól való függése olyan, hogy nem minden periódusnál különböztethető meg a két módus (l. a 3.2 fejezetet). Legújabban viszont *Paparo Margit*nak (1997) a Delta Scuti típusú csillagok alaprezgését és első felhangját a színindex fázisgörbéjének Fourier-felbontása alapján sikerült azonosítania. Feltétlenül érdemes megvizsgálni, hogy ez az eljárás a cefeidákra is sikeresen alkalmazható-e. A helyzetet mindenképpen nehezíti az, hogy pulzációs periódusuk hosszabb értéke miatt a cefeidákról nincs olyan jól lefedett fénygörbe, mint a Delta Scuti típusú változócsillagokról, ami a Fourier-együtthatók nagyobb bizonytalanságát okozza.

A 4. fejezetben arról is szó esett, hogy rögzített periódus esetén az AA értéke egy adott pulzációs módusra is viszonylag tág határok közé esik (még a kettős rendszerbe tartozó cefeidák között is akad kirívóan alacsony AA). A cefeidák pulzációjának alapvető regularitását az egyes csillagok eltérő nehézelem-gyakorisága bontja meg. Míg az RR Lyrae típusú változócsillagok fénygörbéinél *Jurcsik Johanna* és *Kovács Géza* (1996) szoros korrelációt talált egyes Fourier-koefficiensek és a fémtartalom között, *Zsoldos Endrének* (1995) hasonló célú munkája során

a cefeidákra vonatkozó elemgyakoriságokból nem sikerült további használatra alkalmas összefüggést találnia. Az AA-paraméterrel kapcsolatos eredmények publikálásával remélhetőleg sikerül felkelteni az érdeklődést ezen méltatlanul elhanyagolt spektroszkópai téma – a cefeidák légkörének elemgyakorisága – iránt. A galaktikus klasszikus cefeidák kémiai összetételére vonatkozóan ugyanis nincs igazán jól használható adathalmaz: *Harris* (1981) munkája a megjelenés idejében úttörő jelentőségű volt, de mára már látszik, hogy nem eléggé pontos, de azóta sem vállalkozott senki, hogy a cefeidák $[\text{Fe}/\text{H}]$ értékét tömegesen meghatározza.

A kétmódusú cefeidák további vizsgálatához a közeljövőben hatalmas adatbázis válik hozzáférhetővé: a MACHO-projekt illetékesei ugyanis 1998-ra ígérk az összes adat publikussá tételét, közte a közelmúltban a Nagy Magellán-felhőben talált több mint 70 kétmódusú cefeida adataival.

Az elmúlt évtizedben *Kun Mária* a csillagkeletkezési területeket vizsgálva kellő tapasztalatra tett szert arra vonatkozóan, hogy miként lehet pontosítani az IRAS-pontforrások fluxusait az eredeti mérési adatok (detektor-scan) újraredukálásával (*Kun és társai* 1994). Ugyancsak az elmúlt évtizedben alaposan módosult a kettős cefeidák listája, így érdemes újból megvizsgálni a kettős cefeidák infravörös excesszusát. E feladat elvégzését *Kun Máriával* közösen tervezem, és remélhető, hogy a megismételt munka eredményeképpen az effektus szignifikanciaszintjét is sikerül megnövelni, valamint megbecsülni a cefeidák tömegvesztésének mértékét.

Ami pedig a Hipparcos adatainak további elemzését illeti, mind a fotometriai, mind az asztrometriai adatokat érdemes behatóan vizsgálni (a Hipparcos Katalógus CD-ROM és könyv alakban egyaránt hozzáférhető az MTA Csillagászati Kutatóintézetében). A legfontosabb és legsürgősebb teendő a Hipparcos programján szerepelt cefeidákkal kapcsolatban mégis a kettős cefeidák asztrometriai adatainak újbóli meghatározása, immár az ismert pályaelemeket is bemenő paraméterekként kezelve, illetve a még nem ismert pályaelemeknek a parallaxissal és a sajátmozgással együtt történő kiszámítása a Hipparcos kettőscsillagokra vonatkozó redukáló szoftverével. Az 1 kpc-nél közelebbi cefeidák kettősségével kapcsolatos adatokat már eljuttattam *Jean Kovalevsky* professzorhoz.

A Hipparcos mérései során kapott fotometriai adatok (a programon szereplő több mint 200 cefeida mindegyikéről legalább száz fényességadat) pedig a Fourier-paraméterek meghatározásához szolgáltatnak homogén mintát, és az eddig kevésbé tanulmányozott cefeidák periódusváltozásának vizsgálata is lehetővé válik.

Az új és minden bizonnyal pontosabb parallaxisokból pedig érdemes újra kalibrálni a periódus – abszolút fényesség összefüggést.

Tervezem továbbá egy a kettős cefeidákra vonatkozó adatbázis létrehozását és naprakész nyilvántartását, amelyhez a számítógépes hálózaton keresztül bárki hozzáférhet. Ez az adatbázis a cefeidának és kísérőjének (ha több van, akkor valamennyi társacsillagnak) állapothatározóit és a pályaelemeket, valamint a teljes bibliográfiát tartalmazza majd.

Köszönetnyilvánítás

Ahhoz, hogy a dolgozatban ismertetett eredményeket elérhessem, számos hazai és külföldi kolléga is hozzásegített: ki szakmai tanácsokkal, ki megfigyelési adatok publikálás előtti használatra való átengedésével, ki biztatással, ki jogos vagy annak vélt kritikai észrevétellel. Személy szerint is ki kell emelnem Kovács Gézát, a fiz. tud. doktorát, Szeidl Bélát, a fiz. tud. doktorát, Kun Máriát, a fiz. tud. kandidátusát, Vinkó Józsefet, a fiz. tud. kandidátusát, Holl András, Jurcsik Johanna és Kolláth Zoltán tud. munkatársakat, valamint Kiss László PhD-ösztöndíjast (JATE); a külföldi kollégák közül pedig Leonid Berdnikov (Moszkva), David Bersier (Genf), Gilbert Burki (Genf), Nancy R. Evans (Baltimore, majd Toronto), Jaymie Matthews (Vancouver), Frederic Pont (Genf), Nikolay Samus (Moszkva) és Stan Walker (Új Zéland) önzetlen segítségét.

Köszönet illeti továbbá az ESA Hipparcos-projekt vezetőit, hogy kutatási tervemet felvették a mesterséges hold tudományos programjába.

Munkám során többször használtam a strasbourgi SIMBAD-adatbázist.

A kutatás anyagi feltételeit részben a T07438, T14852 és T22946 sz. OTKA-projektek biztosították.

Végül, de nem utolsósorban köszönet illeti családomat, hogy több-kevesebb türelemmel viselték/viselik el azt, hogy időigényes változócsillagászati kutatással foglalkozom.

Irodalomjegyzék:

- Abt H.A. 1959, ApJ 130, 769
- Albrow M.D., Cottrell P.L. 1994, MNRAS 267, 548
- Alcock C., Allsman R.A., Axelrod T.S., Bennett D.P., Cook K.H., Freeman K.C., Griest K., Marshall S.L., Peterson B.A., Pratt M.R., Quinn P.J., Reimann J., Rodgers A.W., Stubbs C.W., Sutherland W., Welch D.L. 1995, AJ 109, 1653
- Allen C.W. 1973, *Astrophysical Quantities*, Athlone Press, London
- Antonello E. 1994, A&A 282, 835
- Antonello E., Poretti E., Reduzzi L. 1990, A&A 236, 138
- Antipin S.V. 1997, IBVS No. 4485
- Arellano Ferro A. 1983, ApJ, 274, 755
- Asteriadis G., Mavridis, L.N., Tsioumis A. 1974, Contr. Dept. Geod. Astr. Univ. Thessaloniki, No.10
- Babel J., Burki G., Mayor M., Waelkens C., Chmielewski Y., 1989, A&A 216, 125.
- Balona L.A., Stobie R.S. 1979a, MNRAS 189, 627
- Balona L.A., Stobie R.S. 1979b, MNRAS 189, 649
- Barnes T.G.III, Moffett T.J., Gieren W.P. 1993, ApJ 405, L51
- Beaulieu J.P., Grison P., Tobin W., Pritchard J.D., Ferlet R., Lepeintre F., Vidal-Madjar A., Maurice E., Prévot L., Gry C., Guibert J., Moreau O., Tajhamady F., Aubourg E., Bareyre P., Coutures C., Gros M., Laurent B., Lachière-Rey M., Lesquoy E., Magneville C., Milsztajn A., Moscoso L., Queinnec F., Renault C., Rich J., Spiro M., Vigroux L., Zylberajch S., Ansari R., Cavalier F., Moniez M. 1995, A&A 303, 137
- Beichman C.A., Neugebauer G., Habing H.J., Clegg P.E., Chester T.J. (szerk.) 1985, *IRAS Catalogs and Atlases Explanatory Supplement*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena
- Berdnikov L.N. 1994, Pis'ma v Astr. Zhu., 20, 285
- Berdnikov L.N. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No. 155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 349
- Berdnikov L.N., Turner D.G. 1997, IBVS No. 4487
- Bersier D., Burki G. 1996, A&A 306, 417
- Bersier D., Burki G., Mayor M., Duquennoy A. 1994, A&AS 108, 25
- Booth A., Davis J. 1996, Obs., 116, 35
- Böhm-Vitense E. 1988, ApJ 324, L27

- Böhm-Vitense E. 1992, *Introduction to Stellar Astrophysics*, I–III, Cambridge Univ. Press
- Breger M. 1980, in *Highlights in Astronomy*, Vol.5, ed. P.A. Wayman, Reidel, Dordrecht, p.463
- Breitfellner M.G., Gillet D. 1994, A&A 277, 541.
- Buchler J.R. 1996, in *Variable Stars and Astrophysical Returns of Microlensing Surveys*, Proc. 12th IAP Coll., p. 181.
- Buchler J.R., Moskalik P. 1994, A&A 292, 450
- Burki G., Mayor M., Benz W. 1982, A&A 109, 258
- Burki G., Schmidt E.G., Arellano Ferro A., Fernie J.D., Sasselov D., Simon N.R., Percy J.R., Szabados L. 1986, A&A 168, 139
- Butler R.P. 1992, ApJ 394, L25
- Butler R.P., Bell R.A., Hindsley R.B. 1996, ApJ 461, 362
- Caldwell J.A.R., Coulson I.M. 1987, AJ 93, 1090
- Caldwell J.A.R., Avruch I.M., Metzger M.R., Schechter P.L., Keane M.J. 1992, in *Variable Stars and Galaxies*; ed. B. Warner, ASP Conf. Ser., vol. 30, 111
- Chiosi C., Wood P., Bertelli G., Bressan A. 1992, ApJ 387, 320
- Christy R.F. 1968, Q. J. R. astr. Soc., 9, 13
- Coulson I.M., Caldwell J.A.R. 1989, MNRAS 240, 285
- Cox J.P. 1980, *Theory of Stellar Pulsation*, Princeton University Press
- Deasy H., Butler C.J. 1986, Nature 320, 726
- Efremov Yu.N. 1968, Perem. Zvezdy, 16, 365
- Eichendorf W., Reinhardt M. 1977, A&A 61, 827
- ESA 1989, The Hipparcos Mission, ESA SP-1111, Vols.I-III
- ESA 1997, The Hipparcos Catalogue, ESA SP-1200
- Evans N.R. 1985, in *Cepheids: Theory and Observations*; Proc. IAU. Coll. No.82, Cambridge Univ. Press, Cambridge, p.79
- Evans N.R. 1988, ApJS 66, 343
- Evans N.R. 1990, PASP 102, 551
- Evans N.R. 1991, ApJ 372, 597
- Evans N.R. 1992a, ApJ 384, 220
- Evans N.R. 1992b, ApJ 389, 657
- Evans N.R. 1992c, AJ 104, 216
- Evans N.R. 1994, ApJ 436, 273
- Evans N.R. 1995a, ApJ 445, 393

- Evans N.R. 1995b, ApJ 449, 164
- Evans N.R., Sugars B.J.A. 1997, AJ 113, 792
- Evans N.R., Massa D., Teays T. 1994, AJ 108, 2251
- Evans N.L., Szabados L., Udalska J. 1990a, PASP 102, 981
- Evans N.R., Welch D.L., Scarfe C.D., Teays T.J. 1990b, AJ 99, 1598
- Feast M.W. 1993, in *New Aspects of Magellanic Cloud Research*; eds.: B. Baschek, G. Klare, J. Lequeux, Springer, p.239
- Feast M. 1994, Ap.Sp.Sci., 217, 169
- Feast M. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 209
- Feast M.W., Catchpole R.M. 1997, MNRAS, 286, L1
- Fernie J.D. 1984a, in *Observational Tests of Stellar Evolution Theory*; Proc. IAU Symp. No.105, eds. A. Maeder, A. Renzini, Reidel, Dordrecht, p.441
- Fernie J.D. 1984b, ApJ 282, 641
- Fernie J.D. 1990a, ApJS 72, 153
- Fernie J.D. 1990b, PASP 102, 905
- Fernie J.D. 1990c, ApJ 354, 595
- Fernie J.D., Hube J.O. 1968, AJ 73, 492
- Fernie J.D. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 155
- Fernie J.D., Beattie B., Evans N.R., Seager S. 1995, Inf. Bull. Var. Stars, No. 4148
- Fernie J.D., Chan S.-K.J. 1986, ApJ 303, 766
- Fernie J.D., Kamper K.W., Seager S. 1993, ApJ 416, 820
- Genderen A.M. van 1974, A&A 34, 279
- Gieren W.P. 1982, ApJS 49, 1
- Gieren W.P. 1993, MNRAS 265, 184
- Gieren W.P., Fouqué P. 1993 in *New Perspectives on Stellar Pulsation and Pulsating Variable Stars*; Proc. IAU Coll. No.139, eds. J.M. Nemec, J.M. Matthews, Cambridge Univ. Press, p.72
- Gieren W.P. Barnes T.G., Moffett T.J. 1993, ApJ, 418, 135
- Gieren W.P., Matthews J.M., Moffett T.J., Barnes T.G. III, Frueh M.L., Szabados L. 1989, AJ 98, 1672
- Gorynya N.A., Irmambetova T.R., Rastorgouev A.S., Samus N.N. 1992a, Pis'ma v Astr. Zhu., 18, 777.
- Gorynya N.A., Samus N.N., Irmambetova T.R., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S., Smekhov M.G., Tokovinin A.A. 1992b, IBVS No. 3376

- Gorynya N.A., Samus N.N., Berdnikov L.N., Rastorguev A.S., Sachkov M.E. 1995a, IBVS No.4199
- Gorynya N.A., Samus N.N., Berdnikov L.N., Rastorguev A.S., Sachkov M.E. 1995b, a 155. IAU-kollokviumon bemutatott poszter
- Gorynya N.A., Rastorguev A.S., Samus N.N. 1996a, Pis'ma v Astr. Zhu., 22, 38.
- Gorynya N.A., Samus N.N., Rastorguev A.S., Sachkov M.E. 1996b, Pis'ma v Astr. Zhu., 22, 198
- Harris H.C. 1981, AJ 86, 707
- Henden A.A. 1996a, AJ 111, 902
- Henden A.A. 1996b, AJ 112, 2757
- Herbig G.H., Moore J.H. 1952, ApJ 116, 348
- Hoffmeister C. 1984, *Veränderliche Sterne*, J.A. Barth, Leipzig
- Iben I, Renzini A. 1984, Phys. Rep., 105, 329
- Imbert M. 1994, A&AS 105, 1
- Joy A.H. 1937, ApJ 86, 363
- Jurcsik J., Kovács G. 1996, A&A 312, 111
- Kamper K.W. 1996, JRASC 90, No.3, 140
- Kamper K.W., Evans N.R., Lyons R.W. 1984, JRASC 78, 173.
- Karp A. 1975, in *Cepheid Modeling*, eds. D. Fischel, W.M. Sparks, NASA SP-383, p. 99
- Kolláth Z. 1990, Occasional Technical Notes of Konkoly Obs., Budapest, No. 1
- Kovács G. 1993, Ap.Sp.Sci. 210, 281
- Kovács G., Kisvarsányi E., Buchler J.-R. 1990, ApJ 351, 606
- Kun M., Szabados L. 1988, IBVS No. 3241
- Kun M., Obayashi A., Sato F., Yonekura Y., Fukui Y., Balázs L.G., Ábrahám P., Szabados L., Kelemen J. 1994, A&A 292, 249
- Laney C.D., Stobie R.S. 1992, A&AS 93, 93
- Laney C.D., Stobie R.S. 1994, MNRAS 266, 441
- Laney C.D., Stobie R.S. 1995, MNRAS 274, 337
- Lang K.R. 1991, *Astrophysical Data; Planets and Stars*, Springer Verlag
- Lloyd Evans T. 1968, MNRAS 141, 103
- Lloyd Evans T. 1971, Bamberg Veröff., IX, No. 100, 204.
- Lloyd Evans T. 1982, MNRAS 199, 925
- Madore B.F. 1977, MNRAS 178, 505
- Madore B.F. (szerk.) 1985, *Cepheids: Theory and Observations*; Proc. IAU. Coll.

- No.82, Cambridge Univ. Press, Cambridge
- Madore B.F., Fernie J.D. 1980, PASP 92, 315
- Madore B.F., Freedman W.L. 1991, PASP 103, 933
- Maeder A. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 1
- Mahmoud F., Szabados L. 1980, IBVS No.1895
- Matthews J.M. 1996, személyes közlés
- McAlary C.W., Welch D.L. 1986, AJ 91, 1209
- McDonald J.S. 1996, IAPPP Comm., No.62, 31
- Moffett T.J. 1989, in *The Use of Pulsating Stars in the Fundamental Problems of Astronomy*; Proc. IAU Coll. 111, ed. E.G. Schmidt, Cambridge Univ. Press, p.191
- Morgan S.M. 1995, AJ 109, 1263
- Moskalik P. 1995, in *Astrophysical Applications of Powerful New Databases*; eds. S.J. Adelman, W.L. Wiese, ASP Conf. Ser., vol. 78, 225
- Moskalik P., Buchler J.R., Marom A. 1992, ApJ 385, 685
- Paparó M. 1997, az IAU 23. közgyűlésén bemutatott poszter
- Pel J.W. 1978, A&A 62, 75
- Pierce M.J., Welch D.L., McClure R.D., van den Bergh S., Racine R., Stetson P.B. 1994, Nature 371, 385
- Pont F., Burki G., Mayor M. 1994a, A&AS 105, 165
- Pont F., Mayor M., Burki G. 1994b, A&A 285, 415
- Pont F., Queloz D., Mayor M., Bratschi P. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 194
- Pont F., Queloz D., Bratschi P., Mayor M. 1997, A&A 318, 416
- Poretti E. 1994, A&A 285, 524
- Roemer E. 1965, ApJ 141, 1415
- Sabbey C.N., Sasselov D.D., Fieldus M.S., Lester J.B., Venn K.A., Butler R.P. 1995, ApJ 446, 250
- Samus N.N., Gorynya N.A., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S. 1993, IBVS No.3934
- Sandage A., Tammann G.A. 1969, ApJ 157, 683
- Sasselov D.D., Lester J.B. 1990a, ApJ 360, 227
- Sasselov D.D., Lester J.B. 1990b, ApJ 362, 333
- Schmidt E.G., Reiswig D.E. 1993, AJ 106, 2429
- Schmidt E.G., Chab J.R., Reiswig D.E. 1995, AJ 109, 1239

- Sebo K.M., Wood P.R. 1995, ApJ 449, 164
- Simon N.R. 1990, in *Confrontation between Stellar Pulsation and Evolution*; eds. C. Cacciari, G. Clementini, ASP Conf. Ser., vol. 11, 193
- Simon N.R. 1995, in *Astrophysical Applications of Powerful New Databases*; eds. S.J. Adelman, W.L. Wiese, ASP Conf. Ser., vol. 78, 211
- Simon N.R., Lee A.S. 1981, ApJ 248, 291
- Simon N.R., Schmidt E.G. 1976, ApJ 205, 162
- Stothers R.B. 1988, ApJ 329, 712
- Szabados L. 1977, Mitt. Sternw. ung. Akad. Wiss., Budapest, No. 70
- Szabados L. 1980, Mitt. Sternw. ung. Akad. Wiss., Budapest, No. 76
- Szabados L. 1981, Comm. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 77
- Szabados L. 1982a, The Observatory, 102, 11
- Szabados L. 1982b, in Comm. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 83, 209
- Szabados L. 1983, ApSS 96, 185
- Szabados L. 1984, in *Observational Tests of Stellar Evolution Theory*, Proc. IAU Symp. No. 105; eds. A. Maeder & A. Renzini, Reidel, Dordrecht, p. 445
- Szabados L. 1985, in *Cepheids: Theory and Observations*, Proc. IAU Coll. No. 82; ed. B.F. Madore, Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 75
- Szabados L. 1986, IBVS No. 2910
- Szabados L. 1988a, IBVS No. 3165
- Szabados L. 1988b, PASP 100, 589
- Szabados L. 1989a, in *Multimode Stellar Pulsation*, eds. G. Kovács, L. Szabados, B. Szeidl, Konkoly Obs. and Kultura Press, Budapest, p. 1
- Szabados L. 1989b, Comm. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 94 (Vol. 11, pt. 1)
- Szabados L. 1990a, MNRAS 242, 285
- Szabados L. 1990b, Sonneberg Veröff., 10, H5, 395
- Szabados L. 1991, Comm. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 96, (Vol. 11, pt. 3)
- Szabados L. 1992a, The Observatory, 112, 57
- Szabados L. 1992b, in *Complementary Approaches to Double and Multiple Star Research*, Proc. IAU Coll. No. 135; eds. H.A. McAlister, W.I. Hartkopf, ASP Conf. Ser., 32, 255
- Szabados L. 1992c, *ibid.*, p. 358
- Szabados L. 1992d, IBVS No. 3812
- Szabados L. 1993a, in *Applications of Time Series in Astronomy and Meteorology*,

- ed. O. Lessi, Univ. of Padova, p. 247
- Szabados L. 1993b, in *New Perspectives on Stellar Pulsation and Pulsating Variable Stars*, Proc. IAU Coll. No.139; eds. J.M. Nemec & J.M. Matthews, Cambridge University Press, p.372.
- Szabados L. 1993c, *ibid.* p.406
- Szabados L. 1994, in *The Impact of Long-Term Monitoring on Variable Star Research*, eds: C. Sterken, M. de Groot, Proc. NATO ASI C436, Kluwer, p.213
- Szabados L. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*, Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., 83, 357
- Szabados L. 1996, A&A 311, 189
- Szabados L. 1997a, in *The Earth and the Universe*, eds. G. Asteriadis et al., Aristotle Univ., Thessaloniki (megjelenőben)
- Szabados L. 1997b, in *Sounding Solar and Stellar Interiors*, Proc. IAU Symp. No.181, ed. G. Barthomieu (megjelenőben)
- Szabados L. 1997c, in *HIPPARCOS Venice'97*, eds. M.A.C Perryman, C. Turon, ESA SP-402, 631
- Szabados L. 1997d, in *Pulsating Stars – Recent Developments in Theory and Observation*, eds. D.D. Sasselov, M. Takeuti, Universal Academy Press, Tokyo (megjelenőben)
- Szabados L., Pont F. 1997, előkészületben
- Trimble V. 1997, Space Sci. Rev., 79, 793
- Van Hoolst T., Waelkens C. 1995, A&A, 295, 361
- Vinkó J. 1993, MNRAS 260, 273
- Welch D.L., Evans N.R., Lyons R.W., Harris H.C., Barnes T.G. III, Slovak M.H., Moffett T.J. 1987, PASP 99, 610.
- Welch D.L., Rorabeck A., Alcock C., Alves D.R., Bennett D.P., Cook K.H., Marshall S.L., Minniti D., Allsman R.A., Axelrod T.S., Freeman K.C., Peterson B.A., Rodgers A.W., Griest K., Guern J.A., Lehner M.J., Becker A., Pratt M.R., Stubbs C.W., Quinn P.J., Sutherland W. 1996, in *Variable Stars and Astrophysical Returns of Microlensing Surveys*, Proc. 12th IAP Coll., p.205
- Willson L.A. 1986, in *The Study of Variable Stars Using Small Telescopes*, ed. J.R. Percy, Cambridge Univ. Press, p.219
- Willson L.A., Bowen G.H. 1984, Nature 312, 429
- Zsoldos E. 1995, in *Astrophysical Applications of Stellar Pulsation*; Proc. IAU Coll. No.155, eds. R.S. Stobie, P.A. Whitelock, ASP Conf. Ser., vol. 83, 351

Függelék

A függelékben szereplő két táblázat a cefeidák amplitúdóit és az azokból származtatott paraméterek értékeit tartalmazza. A 4. fejezetben szereplő ábrák ezen adatok alapján készültek. Az s-cefeidák jelölése a csillag nevének *kurzíválásával* történt.

Az I. táblázat oszlopai rendre a következő adatokat tartalmazzák:

1. A cefeida neve;
2. A (napokban mért) pulzációs periódus logaritmusa;
3. A pulzációs ciklusra átlagolt V-fényesség;
- 4.–7. A fényváltozás amplitúdója az U, B, V és R sávokban. Ha valamelyik sávban az adatok hiánya vagy kis száma miatt nem lehetett meghatározni az amplitúdót, akkor a táblázatban csak a B-sávbeli amplitúdó szerepel. A fotometriai amplitúdók hibája 0,01 magnitúdó. Azon eseteket, amikor az amplitúdó bizonytalansága ennél nagyobb, a számadat utáni kettőspont jelöli. A Kron–Cousins-rendszer alapján meghatározott R-amplitúdókat a számérték kurzíválása jelöli.
- 8.–9. A radiális sebesség változási amplitúdója és annak hibája (dimenziója km/s)
10. Hivatkozás az adatok forrásául szolgáló közleményekre (a bibliográfia közvetlenül az I. táblázat után szerepel).

A II. táblázat oszlopai rendre a következő adatokat tartalmazzák:

- 1.–3. Megegyezik az I. táblázat azonos sorszámú oszlopaival;
- 4.–5. A 4.2 fejezetben definiált amplitúdó-iránytangens (AIT) és annak standard hibája;
- 6.–7. A 4.2 fejezetben definiált amplitúdóarány (AA) és annak standard hibája;
8. A kettősségre utaló kód. Az egyes betűk jelentése:
 - O - a cefeida ismert pályavetületű vagy keringési periódusú spektroszkópai kettős tagja;
 - B - a gamma-sebesség változása vagy IUE-színkép alapján megállapított spektroszkópai kísérő (kivéve a CEab Cas kettős cefeidát);
 - b - a dolgozatban bevezetett amplitúdó-módszerekkel és egyéb fotometriai módszerekkel kimutatott kísérő;
 - V - vizuális kettős, amelynél a másodkomponens nem szükségszerűen fizikai kísérője a cefeidának;
9. Hivatkozás az adott cefeida kettősségével foglalkozó fontosabb közleményekre (a bibliográfia közvetlenül a II. táblázat után szerepel).

A függelék táblázataiban a szabályos magyar helyesírástól eltérően a tizedesvessző helyett tizedespont szerepel.

I. táblázat. A cefeidák amplitúdói

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	$A_{V_{rad}}$	σ	Hivatkozás
T Ant	0.771	9.3	-	1.28	-	-	44.0	2.0	102, 118
U Aql	0.847	6.5	1.54	1.15	0.76	0.54	41.6	0.3	15, 16, 103, 134
SZ Aql	1.234	8.7	2.91	1.87	1.20	0.81	62.0	3.0	12, 15, 16, 87, 103
TT Aql	1.138	7.2	2.56	1.76	1.10	0.75	50.4	1.0	15, 16, 36, 66, 103
<i>FF Aql</i>	0.650	5.4	0.56	0.47	0.33	0.21	16.1	0.4	4,17,28,48,66,103,121
FM Aql	0.786	8.3	1.44	1.08	0.74	0.50	39.0	0.5	15, 16, 17, 66, 102, 103
FN Aql	0.977	8.4	1.16	0.85	0.57	0.40	32.0	1.0	15, 16, 66, 102, 103
KL Aql	0.786	10.2	1.46	1.11	0.76	0.50	34.7	1.0	15, 16, 69, 75, 102
V336 Aql	0.864	9.9	-	1.09	-	-	47.0	4.0	87, 100, 122
<i>V496 Aql</i>	0.833	7.8	0.84	0.57	0.37	0.26	19.5	1.0	15, 16, 59, 60, 103
V600 Aql	0.860	10.1	1.42	0.98	0.67	0.46	33.5	1.0	15, 16, 17, 66, 103
<i>V733 Aql</i>	0.791	9.9	0.92	0.69	0.45	0.33	24.8	1.0	15, 16, 17, 66, 69
V916 Aql	1.128	10.8	2.06	1.38	0.92	0.64	52.0	2.0	12, 15, 69
V1162 Aql	0.730	7.8	1.05	0.79	0.52	0.38	29.5	0.5	15, 70
<i>V1344 Aql</i>	0.874	7.8	0.60	0.42	0.27	0.19	15.5	1.0	4, 16
Eta Aql	0.856	3.9	1.59	1.21	0.80	0.56	39.5	0.5	24, 28, 102, 105, 115
Y Aur	0.586	9.6	-	1.16	-	-	38.5	3.5	87, 102
RT Aur	0.572	5.5	1.36	1.19	0.80	0.56	35.0	1.5	62, 66, 103, 135, 136
RX Aur	1.065	7.7	1.40	1.05	0.68	0.47	32.0	1.0	15, 66, 103, 123
SY Aur	1.006	9.1	1.12	0.93	0.63	0.44	24.0	2.0	16, 87, 102, 103
YZ Aur	1.260	10.4	1.53	1.28	0.80	0.56	54.5	3.5	12, 15, 16, 87, 102, 123
AN Aur	1.012	10.5	1.23	0.97	0.66	0.51	36.5	2.0	13,15,16,17,66,102,123
AO Aur	0.830	10.9	-	1.33	-	-	46.0	3.0	87, 122
AS Aur	0.502	11.9	-	1.01	-	-	41.0	2.5	79, 108
BK Aur	0.903	9.4	1.27	1.00	0.69	0.48	-	-	15, 102, 122
CY Aur	1.141	11.9	-	1.40	-	-	52.0	1.5	12, 108
RW Cam	1.215	8.7	1.16	1.12	0.86	0.63	57.5	3.0	11,12,15,16,17,103,122
RX Cam	0.898	7.7	1.48	1.10	0.72	0.50	38.0	1.0	66, 103, 122
RY CMa	0.670	8.1	1.39:	1.10	0.74	0.51	37.3	1.5	11, 66, 102, 103
RZ CMa	0.629	9.7	1.05	0.84	0.61	0.43	34.0	4.0	11, 102, 103, 107
SS CMa	1.092	9.9	1.86	1.44	0.99	0.74	34.1	1.0	12, 35
TW CMa	0.845	9.6	1.20:	0.98	0.64	0.47	34.0	4.0	11, 96, 102, 103
<i>VZ CMa</i>	0.495	9.4	0.72:	0.59	0.41	<i>0.33</i>	23.0	1.0	87, 102, 119
AO CMa	0.765	12.1	-	1.11:	-	-	38.0	2.0	21, 108
U Car	1.589	6.3	2.59	1.87	1.19	<i>0.95</i>	47.2	2.0	35
V Car	0.826	7.4	-	0.93	-	-	31.0	2.0	37, 117
SX Car	0.687	9.1	1.50	1.16	-	-	32.5	2.5	21, 102, 107
UW Car	0.728	9.5	1.56	1.20	0.84	<i>0.66</i>	34.0	2.5	21, 102, 107
UX Car	0.566	8.3	1.53	1.20	0.84	<i>0.66</i>	33.0	1.5	102, 119
UY Car	0.744	9.0	-	1.09	-	-	36.5	1.5	102, 107

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
UZ Car	0.716	9.3	-	0.91	-	-	32.5	2.0	102, 107
VY Car	1.277	7.5	2.56	1.73	1.09	<i>0.85</i>	52.7	1.5	35, 102
WW Car	0.670	9.8	-	1.13:	-	-	38.5	2.0	102, 107
WZ Car	1.362	9.3	2.56	1.88	1.23	<i>0.98</i>	58.4	2.0	35, 93
XX Car	1.196	9.4	2.69	2.02	1.30	<i>1.01</i>	46.2	1.5	36
XY Car	1.095	9.3	1.89	1.37	0.88	<i>0.66</i>	41.3	1.5	36
XZ Car	1.221	8.6	2.21	1.65	1.07	<i>0.82</i>	54.7	2.0	36
YZ Car	1.259	8.7	1.67	1.26	0.81	<i>0.62</i>	27.7	1.5	34, 36
AQ Car	0.990	8.9	1.28	0.96	0.61	<i>0.48</i>	29.5	1.0	36
CR Car	0.989	11.6	-	0.81:	-	-	27.0	2.0	102, 107
CT Car	1.257	12.3	-	1.68:	-	-	52.5	1.0	93, 99, 107
CY Car	0.630	9.8	-	0.90	-	-	30.0	2.0	102, 107
ER Car	0.888	6.8	1.15	0.85	0.56	0.45	33.0	2.0	90, 91, 102, 116, 117
EY Car	0.459	10.3	0.73	0.66	0.48	0.39	31.0	5.0	21, 50, 106
FI Car	1.129	11.6	-	1.09	-	-	43.0	1.0	21, 99, 101, 107
FR Car	1.030	9.7	1.61	1.08	0.69	<i>0.54</i>	36.8	2.0	35, 93, 102
<i>FZ Car</i>	0.554	12.0	0.62	0.52	0.32	<i>0.26</i>	17.5	0.5	18, 106, 107
<i>GH Car</i>	0.758	9.2	0.49	0.41	0.31	<i>0.22</i>	-	-	21, 102
<i>GI Car</i>	0.647	8.3	0.59	0.51	0.33	<i>0.25</i>	19.0	1.5	61, 116
GX Car	0.857	9.3	1.60	1.18	0.78	<i>0.62</i>	-	-	19, 102
<i>IT Car</i>	0.877	8.1	0.75	0.52	0.34	<i>0.24</i>	15.5	1.5	61, 116
<i>V397 Car</i>	0.315	8.3	0.40	0.32	0.22	0.18	-	-	21, 22
l Car	1.551	3.7	1.90	1.19	0.73	0.57	<i>39.0</i>	1.0	115, 116
RS Cas	0.799	9.9	1.36	1.14	0.76	0.53	38.0	1.0	15, 69, 102
RW Cas	1.170	9.2	2.64	1.88	1.19	0.80	60.8	1.5	11,12,15,16,17,66,102,103
RY Cas	1.084	10.0	1.93	1.47	0.98	0.66	41.5	2.0	12, 15, 69, 87, 102
<i>SU Cas</i>	0.290	6.0	0.63	0.56	0.40	0.28	20.0	1.0	23,57,66,102,103,121,136
SW Cas	0.736	9.7	1.27	0.98	0.66	0.47	27.0	4.0	15, 87, 102, 103
SY Cas	0.610	9.9	1.50:	1.15	0.84	0.57	35.0	1.0	15, 23, 102
<i>SZ Cas</i>	1.135	9.9	0.86	0.65	0.42	0.31	17.2	0.5	12,15,16,17,32,102,103
UZ Cas	0.629	11.4	1.33:	1.17	0.83	0.56	49.5	4.0	15, 16, 87, 102
VV Cas	0.793	10.8	-	1.26	-	-	30.0	5.0	87, 102
VW Cas	0.778	10.7	1.29	1.04	0.71	0.49	46.5	3.5	15, 16, 87, 102
XY Cas	0.653	10.0	1.10	0.87	0.59	0.39	33.0	0.5	15, 82, 102
<i>BD Cas</i>	0.562	11.1	-	0.45	-	-	18.0	1.5	66, 128
BF Cas	0.560	12.5	-	1.24	-	-	39.0	2.5	15, 16, 17, 108
BP Cas	0.797	10.9	-	1.11	-	-	40.0	2.5	87, 102
<i>BY Cas</i>	0.508	10.3	0.65	0.55	0.40	0.28	18.0	3.0	17, 68, 94, 102
CEa Cas	0.711	10.9	1.04	0.81	0.59	0.41	26.0	1.0	14, 66
CEb Cas	0.651	11.1	1.40	1.04	0.67	0.46	29.0	3.0	14, 66

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
CF Cas	0.688	11.2	1.09	0.86	0.58	0.42	32.0	1.0	15, 16, 23, 103, 110
CG Cas	0.640	11.4	-	1.22	-	-	33.0	1.0	15, 16, 98
CT Cas	0.581	12.3	-	0.91	-	-	38.0	1.0	15, 108
DD Cas	0.992	9.9	1.16	0.92	0.60	0.42	35.0	1.0	15, 16, 23, 103
DF Cas	0.583	10.9	1.24	0.90	0.59	0.42	-	-	17, 102
DL Cas	0.903	9.0	1.14	0.86	0.57	0.40	32.3	0.5	12,13,15,16,17,65,77,103
FM Cas	0.764	9.1	1.13	0.88	0.58	0.40	32.5	1.0	23, 102, 103
LT Cas	0.771	12.6	-	1.40	-	-	48.0	2.0	15, 108
<i>V379 Cas</i>	0.634	9.1	-	0.48	-	-	18.0	1.0	69, 88
<i>V636 Cas</i>	0.923	7.2	0.40	0.27	0.19	0.15	9.5	0.5	4, 18, 26, 66
V Cen	0.740	6.9	1.47	1.16	0.77	<i>0.61</i>	36.5	1.5	59, 61
VW Cen	1.177	10.3	2.45	1.63	1.02	<i>0.80</i>	49.0	2.0	35
XX Cen	1.040	7.8	1.84	1.40	0.91	<i>0.73</i>	33.0	1.5	36
AY Cen	0.725	8.8	1.11:	0.83	0.57	0.39	30.5	0.5	102, 105, 107
<i>AZ Cen</i>	0.507	8.6	0.58	0.51	0.40	<i>0.27</i>	15.0	1.5	59, 60, 119
<i>BB Cen</i>	0.602	10.1	-	0.61	-	-	16.5	2.0	102, 119
KN Cen	1.532	9.9	1.52	1.37	1.05	<i>0.91</i>	46.5	1.5	35, 102
MZ Cen	1.015	11.6	-	1.11	-	-	45.5	2.0	21, 99
OO Cen	1.110	12.1	-	1.18:	-	-	42.5	1.5	70, 93, 99, 107
QY Cen	1.249	11.8	-	1.65:	-	-	51.0	1.0	93, 99, 107
V339 Cen	0.976	8.8	1.39	0.94	0.61	<i>0.50</i>	26.2	2.0	35, 102
<i>V378 Cen</i>	0.810	8.5	0.77	0.57	0.37	<i>0.29</i>	17.0	1.0	61, 115
V381 Cen	0.706	7.7	-	1.13	-	-	34.5	1.5	90, 91, 116, 117
<i>V419 Cen</i>	0.741	8.2	0.58	0.45	0.32	<i>0.25</i>	15.5	1.0	18, 90, 91, 116, 117
V496 Cen	0.646	9.9	1.20	0.89	0.60	<i>0.46</i>	-	-	19, 102
<i>V659 Cen</i>	0.750	6.6	0.41	0.36	0.25	0.21	15.5	1.5	19, 90, 91, 116, 117
AK Cep	0.859	11.2	-	1.02:	-	-	44.5	3.0	87, 102
CP Cep	1.252	10.6	-	1.23	-	-	46.3	0.5	17, 66, 107
<i>CR Cep</i>	0.795	9.7	0.85	0.56	0.36	0.25	24.5	1.0	23, 102, 103
<i>IR Cep</i>	0.325	7.8	0.63	0.55	0.39	0.26	20.5	0.5	15, 16, 66, 95
<i>V351 Cep</i>	0.448	9.5	-	0.47	-	-	18.0	1.0	4, 66, 69
Delta Cep	0.730	4.0	1.57	1.27	0.83	0.57	38.5	0.5	23,28,102,103,122,136
AX Cir	0.722	5.9	0.61	0.58	0.43	<i>0.34</i>	29.0	1.0	89, 115
<i>BP Cir</i>	0.380	7.5	0.45	0.44	0.33	<i>0.26</i>	15.0	1.0	9, 19, 130, 131
R Cru	0.765	6.8	1.53	1.21	0.79	0.61	35.0	3.5	102, 116, 130
S Cru	0.671	6.6	1.31	1.07	0.72	<i>0.57</i>	31.0	1.5	59, 60
T Cru	0.828	6.6	-	0.76	-	-	30.5	2.0	42, 116
X Cru	0.794	8.4	1.01	0.83	0.55	<i>0.44</i>	24.0	2.0	19, 102, 116
SU Cru	1.109	9.8	2.25	1.22	0.64	<i>0.39</i>	27.0	1.5	35
SV Cru	0.845	12.1	-	1.12:	-	-	35.5	1.0	99, 107, 127

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
VW Cru	0.721	9.6	1.17	0.87	0.57	<i>0.46</i>	-	-	19, 102
VX Cru	1.087	12.0	1.98	1.49	0.97	<i>0.78</i>	34.5	1.0	18, 70, 93, 99, 107
AD Cru	0.806	11.1	-	1.15:	-	-	36.5	1.0	99, 102, 107
AG Cru	0.584	8.3	1.40	1.20	0.83	<i>0.65</i>	33.5	1.5	59, 61
<i>BG Cru</i>	0.524	5.5	0.36	0.31	0.21	<i>0.17</i>	9.0	1.0	38, 119
X Cyg	1.214	6.4	2.46	1.59	1.00	0.68	55.5	0.5	2,15,23,66,102,103,123,132
SU Cyg	0.585	6.9	1.11	1.04	0.75	0.52	37.0	0.5	52, 85
SZ Cyg	1.179	9.5	2.20	1.43	0.90	0.63	54.5	2.5	12,15,89,102,103,120
TX Cyg	1.168	9.6	2.70:	1.83	1.22	0.80	54.0	4.0	12, 15, 102, 103, 120
VX Cyg	1.304	10.1	2.23	1.52	1.01	0.68	54.0	2.5	15, 66, 69, 87, 102
VY Cyg	0.895	9.6	1.57	1.24	0.81	0.57	42.0	3.0	15, 102, 103, 120
VZ Cyg	0.687	9.0	1.22	0.98	0.65	0.45	32.8	1.0	15,23,102,103,110,121
BZ Cyg	1.006	10.2	1.19	0.75	0.50	0.38	28.5	1.0	12, 15, 31, 69, 102
CD Cyg	1.232	9.0	2.70	1.86	1.17	0.78	61.8	1.5	7,12,16,17,69,89,103,120
<i>DT Cyg</i>	0.398	5.8	0.48	0.43	0.29	0.20	14.5	0.5	4,15,16,17,23,103,121,136
GH Cyg	0.893	9.9	1.33	1.09	0.77	0.53	33.5	1.5	15, 98, 102
MW Cyg	0.775	9.5	1.44	1.07	0.72	0.50	37.5	1.0	15,16,17,67,69,102,103
V383 Cyg	0.664	10.9	-	0.85	-	-	30.5	1.0	15, 69
V386 Cyg	0.721	9.7	1.34	1.01	0.70	0.48	36.0	1.0	13, 69, 98, 102, 103
V402 Cyg	0.640	9.9	1.06	0.85	0.57	0.40	30.3	1.0	15,17,66,69,78,98,102,103,124
V438 Cyg	1.050	11.0	-	1.49	-	-	45.0	0.5	15, 98
V459 Cyg	0.860	10.6	-	1.05	-	-	37.0	1.0	69, 98, 103, 107
<i>V495 Cyg</i>	0.828	10.6	0.67:	0.60	0.44	0.33	26.5	1.0	15, 69, 99
V520 Cyg	0.607	10.9	1.08	0.86	0.59	0.45	34.0	1.5	13, 66, 69, 78
<i>V532 Cyg</i>	0.516	9.1	0.57	0.50	0.34	0.24	18.0	1.0	66, 69, 89, 102, 103
V538 Cyg	0.787	10.5	1.07	0.81	0.53	0.39	31.0	1.0	15, 69, 102
<i>V924 Cyg</i>	0.746	10.7	0.50	0.40	0.27	0.18	15.0	1.0	15, 69, 103, 129
<i>V1154 Cyg</i>	0.692	9.2	0.77	0.60	0.39	0.29	25.7	1.0	13, 15, 66, 69, 129
<i>V1334 Cyg</i>	0.523	5.9	0.20	0.21	0.16	0.13	9.3	0.5	3, 4, 15, 120
<i>V1726 Cyg</i>	0.627	9.0	0.30	0.26	0.19	0.12	8.5	0.5	15, 16, 69, 87, 124
TX Del	0.790	9.2	1.42	1.04	0.63	0.41	29.3	0.2	39,66,76,102,103,122
Beta Dor	0.977	3.7	1.35	0.99	0.65	<i>0.54</i>	33.0	0.5	115, 133
W Gem	0.898	7.0	1.61	1.22	0.81	0.54	42.0	1.5	10, 103, 122, 124
RZ Gem	0.743	10.1	1.54	1.32	0.95	0.66	37.0	2.5	11, 102, 103
AA Gem	1.053	9.7	1.38	1.03	0.65	0.46	31.5	3.0	12,15,16,87,102,103,124
AD Gem	0.578	9.9	1.12	0.94	0.63	0.44	37.0	1.0	84, 102, 103
BB Gem	0.363	11.4	1.56	1.44	1.05	<i>0.82</i>	42.5	1.0	23, 78, 92
BW Gem	0.421	12.1	-	1.22	-	-	42.0	2.5	79, 107, 108
<i>DX Gem</i>	0.497	10.7	0.66:	0.48	0.34	0.27	22.0	1.0	23, 78, 103
Zeta Gem	1.006	3.9	1.08	0.77	0.48	0.32	27.3	0.5	23,66,73,103,115,123,136

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
BB Her	0.876	10.1	1.35	0.98	0.65	0.43	32.3	1.0	15,66,68,77,96,100
V Lac	0.698	9.0	1.67	1.38	0.93	0.65	41.5	1.5	15,16,69,102,103,121
<i>X Lac</i>	0.736	8.4	0.75	0.61	0.41	0.29	23.0	0.5	7,15,16,23,102,103,122
Y Lac	0.636	9.2	1.17	1.02	0.71	0.50	36.0	1.0	15,31,66,102,103,120
Z Lac	1.037	8.5	1.99	1.47	0.96	0.69	42.0	1.0	7,12,15,16,47,66,69,103,123
RR Lac	0.807	8.9	1.48	1.17	0.79	0.54	36.0	0.5	7,15,16,23,69,102,103,122
BG Lac	0.727	8.9	1.15	0.89	0.60	0.44	35.0	2.0	11, 15, 16, 102, 103
<i>GH Lup</i>	0.967	7.6	0.39	0.28	0.17	<i>0.13</i>	10.1	0.5	35
<i>V473 Lyr</i>	0.173	6.2	0.58	0.50	0.34	0.24	-	-	20, 27, 54, 78
T Mon	1.432	6.2	2.32	1.58	1.02	0.72	46.8	1.0	15,16,17,23,33,35,66,103
SV Mon	1.183	8.3	2.43	1.72	1.10	0.74	58.0	2.0	12, 15, 16, 17, 35, 103, 123
TX Mon	0.940	11.0	-	0.90	-	-	39.0	2.5	103, 108
TZ Mon	0.871	10.8	1.37	1.11	0.72	<i>0.56</i>	42.0	2.0	18, 102, 107, 108
<i>UY Mon</i>	0.380	9.4	-	0.60	-	-	20.0	1.0	16, 17, 83
WW Mon	0.669	12.5	1.73:	1.33	0.98	0.66	48.0	2.0	15, 16, 87, 102, 108
XX Mon	0.737	11.9	1.32	1.13	0.79	0.49	37.0	1.5	17, 42, 107, 108
AC Mon	0.904	10.1	-	1.07	-	-	34.5	1.0	102, 107
BE Mon	0.432	10.6	1.14	0.91	0.62	0.44	30.5	1.0	16, 23, 25
CV Mon	0.731	10.3	1.29	1.04	0.72	0.50	38.0	1.5	6,15,16,17,99,103,125
FI Mon	0.517	13.0	-	1.03	-	-	40.5	2.5	21, 107
FT Mon	0.534	12.7	-	1.46	-	-	43.5	2.5	108, 137
<i>V465 Mon</i>	0.433	10.4	0.77	0.58	0.39	0.24	17.5	1.5	16, 17, 23, 78
V495 Mon	0.612	12.4	-	0.79	-	-	33.5	2.5	16, 17, 108
<i>V508 Mon</i>	0.616	10.5	0.80:	0.67	0.46	0.32	26.0	1.0	16, 18, 78
<i>V510 Mon</i>	0.873	12.7	-	0.59	-	-	22.5	1.5	19, 108
<i>V526 Mon</i>	0.427	8.6	0.38	0.39	0.27	0.20	-	-	16, 17, 129
R Mus	0.876	6.3	-	1.32	-	-	37.0	1.5	91, 102
S Mus	0.985	6.1	-	0.70	-	-	31.0	0.5	45, 102
RT Mus	0.489	9.0	1.42	1.11	0.75	<i>0.59</i>	33.5	1.0	102, 116, 121
UU Mus	1.066	9.8	2.21	1.68	1.09	<i>0.86</i>	40.0	3.0	35, 93
S Nor	0.989	6.4	1.36	0.99	0.65	0.40	33.6	0.5	40, 97, 100, 112, 133
U Nor	1.102	9.3	2.08	1.46	1.00	<i>0.78</i>	33.3	2.0	35, 102
RS Nor	0.792	10.0	-	1.14:	-	-	31.0	1.5	99, 102, 107
SY Nor	1.102	9.5	-	1.22	-	-	77.0	4.0	23, 93, 102
TW Nor	1.033	11.7	-	1.35:	-	-	46.5	1.5	93, 97
GU Nor	0.538	10.4	1.02	0.77	0.56	0.43	27.5	1.0	99, 101, 109
<i>QZ Nor</i>	0.578	8.9	0.49	0.43	0.30	<i>0.22</i>	15.5	0.5	35, 99
<i>V340 Nor</i>	1.054	8.4	0.67	0.47	0.30	<i>0.23</i>	18.0	0.5	35, 97
<i>Y Oph</i>	1.234	6.2	1.00	0.75	0.49	0.34	16.9	0.5	15, 35, 103, 112, 133
BF Oph	0.609	7.4	1.28	0.98	0.66	0.44	30.0	1.5	15, 59, 60, 103

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
RS Ori	0.879	8.4	1.53	1.21	0.82	0.59	38.5	2.0	66, 102, 103, 122
CR Ori	0.691	12.3	1.08	0.86	0.61	0.46	29.5	2.0	79, 102, 107, 108
CS Ori	0.590	11.4	1.39:	1.28	0.92	<i>0.71</i>	37.5	1.0	78, 108, 113
GQ Ori	0.935	9.0	1.35	1.08	0.68	0.46	37.0	4.0	11, 103, 122, 129
SV Per	1.046	9.0	1.31	1.18	0.87	0.58	50.5	2.0	12, 15, 63, 103, 128
UX Per	0.660	11.6	-	1.34	-	-	39.5	1.5	102, 108, 114
UY Per	0.730	11.4	-	1.21	-	-	40.5	1.5	32, 103
VX Per	1.037	9.3	1.30	1.00	0.68	0.50	30.5	0.5	12,16,32,102,103,123
VY Per	0.743	11.3	-	1.21	-	-	41.0	1.0	32, 103
AS Per	0.697	9.8	1.48	1.23	0.86	0.59	28.5	5.0	87, 102, 103
AW Per	0.810	7.5	1.26	1.11	0.80	0.56	42.0	1.0	71, 102, 103, 122
BM Per	1.361	10.4	-	1.86	-	-	59.5	2.5	12, 66, 108
<i>CI Per</i>	0.518	12.7	0.75	0.67	0.52	0.34	27.5	2.0	17, 108
<i>V440 Per</i>	0.879	6.3	0.19	0.15	0.10	0.08	5.9	0.5	4, 26, 66, 69
X Pup	1.414	8.6	2.47	1.98	1.27	0.84	65.5	5.0	11, 93, 102, 103
RS Pup	1.617	7.0	2.54	1.74	1.12	0.79	57.0	5.0	11, 40, 93, 103
VW Pup	0.632	11.4	-	1.07:	-	-	37.0	4.0	87, 102, 108
VZ Pup	1.365	9.7	2.47	1.88	1.27	<i>0.95</i>	54.0	5.0	35, 93, 102
WW Pup	0.742	10.5	-	1.35	-	-	46.5	2.0	102, 108
WX Pup	0.951	9.1	1.52:	1.07	0.69	0.45	33.0	5.0	11, 87, 102, 103, 116
WY Pup	0.720	10.6	-	1.23	-	-	41.0	1.0	102, 108
AP Pup	0.706	7.4	-	0.94:	-	-	34.5	1.5	102, 116
AQ Pup	1.478	8.8	2.80	1.88	1.26	<i>0.95</i>	55.9	1.5	11, 35, 56, 116
AT Pup	0.824	8.0	1.72	1.38	0.92	<i>0.73</i>	45.5	2.0	59, 116
BN Pup	1.136	9.9	2.75	1.92	1.23	<i>0.92</i>	61.6	3.5	35
LS Pup	1.151	10.5	2.06	1.62	1.03	<i>0.71</i>	55.0	3.5	35
<i>MY Pup</i>	0.755	5.7	0.33	0.28	0.20	<i>0.14</i>	11.0	0.5	118, 119
S Sge	0.923	5.6	1.52	1.12	0.71	0.50	36.2	1.0	15,16,17,24,49,66,69,81,122
GY Sge	1.713	10.2	1.64	0.96	0.67	0.46	31.5	2.5	12, 13, 66, 69
U Sgr	0.829	6.7	1.52	1.13	0.74	0.49	39.5	0.5	15, 59, 66, 69, 103
W Sgr	0.881	4.7	1.59	1.26	0.81	0.60	38.8	0.5	8, 102, 103
X Sgr	0.846	4.6	1.13	0.91	0.60	<i>0.46</i>	26.0	1.5	103, 104, 115
Y Sgr	0.761	5.8	1.44	1.11	0.73	<i>0.56</i>	39.5	1.5	30, 103, 115
VY Sgr	1.132	11.6	-	1.78:	-	-	56.0	3.0	15, 16, 109
WZ Sgr	1.339	8.1	2.70	1.74	1.10	<i>0.82</i>	54.5	1.5	12, 15, 69, 103
XX Sgr	0.808	8.9	-	1.26	-	-	46.5	4.0	87, 103
YZ Sgr	0.980	7.4	1.44	1.04	0.71	0.52	36.5	2.5	11, 15, 16, 87
AP Sgr	0.704	7.0	1.52	1.21	0.81	0.56	35.5	1.5	15, 17, 59, 60, 103
AV Sgr	1.188	11.4	-	1.83:	-	-	47.0	2.0	15, 99, 107
AY Sgr	0.818	10.5	-	1.30	-	-	68.0	4.0	87, 102

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
BB Sgr	0.822	7.0	1.30	0.92	0.60	0.41	32.0	1.0	15, 17, 60, 69, 103
V350 Sgr	0.712	7.5	1.36	1.06	0.71	0.51	39.0	1.0	60, 69, 102, 103
V773 Sgr	0.760	12.4	-	0.96:	-	-	37.0	2.0	13, 99, 107
V1954 Sgr	0.791	10.8	1.54	1.12	0.76	0.53	>29.0	-	13, 15, 16, 99
RV Sco	0.783	7.1	1.54	1.21	0.80	0.62	34.5	1.5	59, 60
RY Sco	1.308	8.0	1.59	1.24	0.86	0.70	30.2	1.5	35
KQ Sco	1.458	9.8	2.34	1.43	0.91	0.73	37.5	3.0	35
V482 Sco	0.656	8.0	1.22	0.96	0.64	0.49	34.0	1.5	59, 60, 116
V500 Sco	0.969	8.8	1.50:	1.05	0.72	0.46	38.0	1.5	102, 103, 116
V636 Sco	0.832	6.7	-	0.80	-	-	30.5	1.5	91, 102
<i>V950 Sco</i>	0.529	7.3	0.51	0.50	0.36	0.28	-	-	21
X Sct	0.623	10.0	-	1.29	-	-	35.0	1.0	87, 98, 99, 101
Y Sct	1.015	9.7	1.69	1.23	0.79	0.56	38.5	2.0	11, 12, 15, 103
Z Sct	1.111	9.6	-	1.61	-	-	42.5	2.5	87, 103
RU Sct	1.294	9.5	2.53	1.69	1.12	0.76	49.5	1.0	12, 15, 69, 103
SS Sct	0.565	8.2	0.98	0.79	0.53	0.37	26.5	2.0	15, 59, 60
TY Sct	1.043	10.9	1.89:	1.35	0.94	0.66	34.0	1.0	15, 16, 98, 99
UZ Sct	1.169	11.3	1.78:	1.28	0.90	0.66	46.0	1.0	15, 102, 107
BX Sct	0.807	12.3	-	1.17	-	-	38.0	1.5	13, 69, 107
CK Sct	0.870	10.6	-	0.74:	-	-	24.5	1.0	15, 98, 99, 102
CM Sct	0.530	11.1	-	0.88:	-	-	32.0	1.0	98, 99, 103
CN Sct	1.000	12.5	-	0.97:	-	-	30.5	0.5	12, 15, 99, 107
<i>EV Sct</i>	0.490	10.1	0.53	0.42	0.29	0.21	16.8	0.5	5, 15, 23, 97, 103
AA Ser	1.234	12.3	-	1.31	-	-	39.5	1.0	12, 107
CR Ser	0.724	10.9	-	1.10	-	-	35.5	1.5	21, 66, 69
ST Tau	0.606	8.2	1.28	1.10	0.76	0.55	34.5	0.5	23, 102, 103, 121
<i>SZ Tau</i>	0.498	6.5	0.61	0.51	0.34	0.23	21.6	0.5	23,62,66,101,103,121,136
<i>EU Tau</i>	0.323	8.1	0.55	0.47	0.33	0.22	17.5	0.5	23,64,66,72,111,121,129
R TrA	0.530	6.7	0.97	0.81	0.54	0.43	26.0	2.0	59, 60
S TrA	0.801	6.4	1.45	1.14	0.74	0.56	32.5	1.5	59, 60
T Vel	0.666	8.0	1.24	0.95	0.63	0.49	35.5	2.0	61
V Vel	0.641	7.6	1.24	1.02	0.66	0.52	36.0	2.0	61
RY Vel	1.449	8.4	1.94	1.45	0.96	0.74	35.8	2.5	35
RZ Vel	1.310	7.1	2.68	1.95	1.20	0.96	50.1	3.0	35
ST Vel	0.768	9.7	-	0.96	-	-	32.5	2.5	102, 107
SV Vel	1.149	8.6	2.29	1.82	1.23	0.83	45.0	4.0	44, 93, 116
SW Vel	1.370	8.2	2.50	1.99	1.27	0.99	60.3	3.5	35
SX Vel	0.980	8.3	1.31	0.98	0.66	0.52	34.0	3.0	43, 102, 116
<i>AH Vel</i>	0.626	5.7	0.60	0.50	0.35	0.26	18.5	1.0	58, 115
BG Vel	0.840	7.6	-	0.73	-	-	28.0	3.0	102, 116

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	A_U	A_B	A_V	A_R	A_{Vrad}	σ	Hivatkozás
CS Vel	0.771	11.7	-	1.23	-	-	36.0	1.0	23, 74
DP Vel	0.739	11.8	-	1.15:	-	-	44.5	3.0	102, 107
DR Vel	1.049	9.5	1.65	1.11	0.72	0.62	40.0	2.0	35
EZ Vel	1.538	12.4	-	1.63:	-	-	51.5	1.5	93, 99, 102, 107
S Vul	1.835	9.0	1.49	0.95	0.58	0.42	29.0	2.0	12,13,15,17,51,69
T Vul	0.647	5.8	1.16	0.97	0.65	0.46	33.0	1.0	15,16,23,46,103,121
U Vul	0.903	7.2	1.41	1.08	0.72	0.49	30.5	1.0	7,15,16,23,66,103,122
X Vul	0.801	8.9	1.58	1.15	0.77	0.52	36.8	0.5	15,16,23,66,69,102,103
SV Vul	1.653	7.3	2.48	1.67	1.06	0.70	45.0	0.5	12,13,15,16,23,53,55,69,103,123
BR Vul	0.716	10.7	1.52	1.17	0.80	0.57	-	-	13
HV837	1.630	13.3	1.86	1.38	0.87	<i>0.67</i>	46.5	1.5	35, 86, 93
HV883	2.127	12.2	-	1.65	-	-	63.5	1.5	86, 96
HV11157	1.839	13.0	0.86:	0.63	0.39	<i>0.30</i>	21.5	1.0	35, 42, 86

Hivatkozások az I. táblázathoz:

1. Abt H.A. 1973, ApJS 26, 365
2. Abt H.A. 1978, PASP 90, 309
3. Abt H.A., Levy S.G. 1970, PASP 82, 334
4. Arellano Ferro A. 1984, MNRAS 209, 481
5. Arp H.C. 1958, ApJ 128, 161
6. Arp H.C. 1960, ApJ 131, 322
7. Asteriadis G., Mavridis L.N., Tsioumis A. 1977, Contr. Dept. Geod. Astr. Univ. Thessaloniki, No. 15
8. Babel J., Burki G., Mayor M., Waelkens C., Chmielewski Y. 1989, A&A 216, 125
9. Balona L.A. 1981, Observatory 101, 205
10. Barnes T.G. III, Moffett T.J., Slovak M.H. 1987, ApJS 65, 307
11. Barnes T.G. III, Moffett T.J., Slovak M.H. 1988, ApJS 66, 43
12. Berdnikov L.N. 1986, Perem. Zv. 22, 369
13. Berdnikov L.N. 1987, Perem. Zv. 22, 530
14. Berdnikov L.N. 1990, Astr. Zh. 67, 798
15. Berdnikov L.N. 1992a, Astron. Astrophys. Trans. 2
16. Berdnikov L.N. 1992b, Pis'ma v Astr. Zh. 18, No. 4, 325
17. Berdnikov L.N. 1993, Pis'ma v Astr. Zh. 19, 210
18. Berdnikov L.N. 1995, személyes közlés
19. Berdnikov L.N. 1997, személyes közlés
20. Berdnikov L.N., Voziakova O.V. 1995, IBVS No. 4145
21. Berdnikov L.N., Turner D.G. 1995, Astr. Zh. 21, No. 8, 603, 803
22. Berdnikov L.N., Ignatova V.V., Pastukhova E.N., Turner D.G. 1997, Pis'ma v Astr. Zh., 23, 204

23. Bersier D., Burki G., Mayor M., Duquennoy A. 1994, A&AS 108, 25
24. Breitfellner M.G., Gillet D. 1993, A&A 277, 541
25. Buchancowa N., Kunchev P., Wisniewski W. 1972, IBVS No. 727
26. Burki G., Benz W. 1982, A&A 115, 30
27. Burki G., Mayor M., Benz W. 1982, A&A 109, 258
28. Butler R.P. 1993, ApJ 415, 323
29. Caldwell J.A.R., Coulson I.M. 1984, SAAO Circ. 1, No. 8, 1
30. Campbell W.W., Moore J.H. 1928, Lick Obs. Publ. 16
31. Chekhanikhina O.A. 1982, Bull. Inst. Astrofiz. Dushanbe, No. 71, 25
32. Coker R., Madore B., Mould J., Oke J.B., Picard A., Huchra J., Latham D. 1989, PASP 101, 594
33. Coulson I.M. 1983a, MNRAS 203, 925
34. Coulson I.M. 1983b, MNRAS 205, 1135
35. Coulson I.M., Caldwell J.A.R. 1985, SAAO Circ. 1, No. 9, 5
36. Coulson I.M., Caldwell J.A.R., Gieren W.P. 1985, ApJS 57, 595
37. Cousins A.W.J., Lagerweij H.C. 1968, MNASSA 27, 138
38. Cousins A.W.J., Lagerweij H.C. 1971, MNASSA 30, 146
39. Dean J.F. 1977, MNASSA 36, 3
40. Dean J.F., Cousins A.W.J., Bywater R.A., Warren P.R. 1977, MemRAS 83, 69
41. Eggen O.J. 1969, ApJ 156, 617
42. Eggen O.J. 1977, ApJS 34, 33
43. Eggen O.J. 1982, ApJS 50, 199
44. Eggen O.J. 1983, AJ 88, 998
45. Evans N.R. 1990, PASP 102, 551
46. Evans N.R., Lyons R. 1986, AJ 92, 436
47. Evans N.R., Welch D.L. 1993, PASP 105, 836
48. Evans N.R., Welch D.L., Scarfe C.D., Teays T.J. 1990, AJ 99, 1598
49. Evans N.R., Welch D.L., Slovak M.H., Barnes T.G. III, Moffett T.J. 1993, AJ 106, 1599
50. Feast M.W. 1967, MNRAS 136, 141
51. Fernie J.D. 1970, AJ 75, 244
52. Fernie J.D. 1979a, PASP 91, 67
53. Fernie J.D. 1979b, ApJ 231, 841
54. Fernie J.D. 1982, PASP 94, 537
55. Fernie J.D., Demers S., Marlborough J.M. 1965, AJ 70, 482
56. Fernie J.D., Hiltner W.A., Kraft R.P. 1966, AJ 71, 999
57. Gieren W.P. 1976, A&A 47, 211
58. Gieren W.P. 1977, A&AS 28, 193
59. Gieren W.P. 1981a, ApJS 46, 287
60. Gieren W.P. 1981b, ApJS 47, 315
61. Gieren W.P. 1985a, ApJ 295, 507
62. Gieren W.P. 1985b, A&A, 148, 138
63. Gieren W.P., Brieva E. 1992, A&A 253, 126
64. Gieren W.P., Matthews J.M., Moffett T.J., Barnes T.G. III, Frueh M.L., Szabados L. 1989, AJ 98, 1672
65. Gieren W.P., Welch D.L., Mermilliod J.-C., Matthews J.M., Hertling G. 1994, AJ 107, 2093

66. Gorynya N.A., Irmambetova T.R., Rastorgouev A.S., Samus N.N. 1992a, Pis'ma v Astr. Zhu. 18, No. 9, 777
67. Gorynya N.A., Samus N.N., Irmambetova T.R., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S., Smekhov M.G., Tokovinin A.A. 1992b, IBVS No. 3776
68. Gorynya N.A., Samus N.N., Rastorgouev A.S. 1994, IBVS No. 4130
69. Gorynya N.A., Samus N.N., Rastorgouev A.S., Sachkov M.E. 1996, Pis'ma v Astr. Zhu. 22, No.3, 198
70. Grayzeck E.J. 1978, AJ 83, 1397
71. Griffin R.F. 1982, személyes közlés
72. Guinan E.W. 1972, PASP 84, 56
73. Harris D.L. 1953, ApJ 118, 346
74. Harris G.L.H., van den Bergh S. 1976, ApJ 209, 130
75. Harris H.C., Wallerstein G. 1984, AJ 89, 379
76. Harris H.C., Welch D.L. 1989, AJ 98, 981
77. Harris H.C., Welch D.L., Kraft R.P., Schmidt E.G. 1987, AJ 94, 403
78. Henden A.A. 1979, MNRAS 189, 149
79. Henden A.A. 1996, AJ 112, 2757
80. Henriksson G. 1983, Uppsala Astr. Obs. Rep. No. 26
81. Herbig G.H., Moore J.H. 1952, ApJ 116, 348
82. Imbert M. 1981a, A&AS 44, 319
83. Imbert M. 1981b, IBVS No. 1983
84. Imbert M. 1983, A&AS 53, 85
85. Imbert M. 1984, A&AS 58, 529
86. Imbert M., Andersen J., Ardeberg A., Duquennoy A., Lindgren H., Maurice E., Mayor M., Mermilliod J.-C., Nordström B., Prévot L. 1989, A&AS 81, 339
87. Joy A.H. 1937, ApJ 86, 363
88. Kardoplov V.I., Phylipiev G.K. 1979, Perem Zvezdy 21, 191
89. Kwee K.K., Braun L.D. 1967, BAN Suppl. 2, 77
90. Lloyd Evans T. 1968, MNRAS 141, 109
91. Lloyd Evans T. 1980, SAAO Circ. 1, No. 5, 257
92. Loomis C., Schmidt E.G., Simon N.R. 1988, MNRAS 235, 1059
93. Madore B.F. 1975, ApJS 29, 219
94. Malik G.M. 1965, AJ 70, 94
95. Marschall L.A., Seeds M.A., Davis R.J. 1993, AJ 106, 1123
96. Martin W.C., Warren P.R. 1979, SAAO Circ. 1, No. 4, 98
97. Mermilliod J.-C., Mayor M., Burki G. 1987, A&AS 70, 389
98. Metzger M.R., Caldwell J.A.R., McCarthy J.K., Schechter P.L. 1991, ApJS 76, 803
99. Metzger M.R., Caldwell J.A.R., Schechter P.L. 1992, AJ 103, 529
100. Michalowska-Smak A., Smak J. 1965, Acta Astr. 15, 333
101. Milone E.F. 1970, IBVS No. 482
102. Mitchell R.I., Iriarte B., Steinmetz D., Johnson H.L. 1964, Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya 3, No. 24 (és az abban szereplő hivatkozások)
103. Moffett T.J., Barnes T.G. III 1984, ApJS 55, 389
104. Moore J.H. 1909, Lick Obs. Bul. 5, 111
105. Olmsted M. 1966, AJ 71, 916
106. Pike C.D., Andrews P.J. 1979, MNRAS 187, 261

107. Pont F., Burki G., Mayor M. 1994, A&AS 105, 165
108. Pont F., Queloz D., Bratschi P., Mayor M. 1997, A&A 318, 416
109. Samus N.N., Gorynya N.A., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S. 1993, IBVS No. 3934
110. Sandage A. 1958, ApJ 128, 150
111. Sanwal N.B., Parthasarathy M. 1974, A&AS 13, 91
112. Schmidt E.G. 1971, ApJ 165, 335
113. Schmidt E.G., Chab J.R., Reiswig D.E. 1995, AJ 109, 1239
114. Schmidt E.G., Seth A. 1996, AJ 112, 2769
115. Shobbrook R.R. 1992, MNRAS 255, 486
116. Stibbs D.W.N. 1955, MNRAS 115, 363
117. Stobie R.S. 1970, MNRAS 148, 1
118. Stobie R.S. 1972, Observatory 92, 12
119. Stobie R.S., Balona L.A. 1979, MNRAS 189, 641
120. Struve O. 1945, ApJ, 102, 232
121. Szabados L. 1977, Mitt. Sternw. ung. Akad. Wiss., Budapest, No. 70
122. Szabados L. 1980, Mitt. Sternw. ung. Akad. Wiss., Budapest, No. 76
123. Szabados L. 1981, Comm. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 77
124. Takase B. 1969, Tokyo Astr. Bull., 2nd Ser. No.191
125. Turner D.G. 1978, JRASC 72, 248
126. Turner D.G., Mandushev G.I., Forbes D. 1994, AJ 107, 1796
127. van den Bergh S., Herbst E., Harris G.L.H., Herbst W. 1976, ApJ 208, 770
128. Vasilyanovskaya O.P. 1977, Perem. Zvezdy 20, 467
129. Wachmann A.A. 1976, A&AS 23, 249
130. Walker S. 1993, személyes közlés
131. Walker S. 1996, személyes közlés
132. Wallerstein G. 1983, PASP 95, 422
133. Wallerstein G., Jacobsen T. S., Cottrell P. L., Clark M., Albrow M. 1992, MNRAS 259, 474
134. Welch D.L., Evans N.R., Lyons R.W., Harris H.C., Barnes T.G. III, Slovak M.H., Moffett T.J. 1987, PASP 99, 610
135. Winzer J.E. 1973, AJ 78, 618
136. Wisniewski W.Z., Johnson H.L. 1968, Comm. Lun. Plan. Lab. 7, No. 112
137. Berdnikov L.N. 1993b, IBVS No. 3864

II. táblázat. A cefeidák amplitúdó-paraméterei és kettőssége

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
T Ant	0.771	9.3	-	-	34.4	1.8		
U Aql	0.847	6.5	0.68	0.03	36.2	0.6	O	6, 16, 70, 74
SZ Aql	1.234	8.7	0.86	0.08	33.2	1.8		
TT Aql	1.138	7.2	0.78	0.04	28.6	0.7		
<i>FF Aql</i>	0.650	5.4	0.57	0.06	34.3	1.6	O	28, 71
FM Aql	0.786	8.3	0.67	0.01	36.1	0.8		
FN Aql	0.977	8.4	0.69	0.03	37.6	1.6	b	9, 63, 70, 72
KL Aql	0.786	10.2	0.67	0.01	31.3	1.2	B	54, 66
V336 Aql	0.864	9.9	-	-	43.1	4.1		
<i>V496 Aql</i>	0.833	7.8	0.74	0.06	33.6	2.3	B	13, 64
V600 Aql	0.860	10.1	0.75	0.05	34.2	1.4		
<i>V733 Aql</i>	0.791	9.9	0.67	0.04	35.9	1.4		
V916 Aql	1.128	10.8	0.79	0.07	37.7	1.7	B	42, 70
V1162 Aql	0.730	7.8	0.66	0.04	37.3	1.1		
<i>V1344 Aql</i>	0.874	7.8	0.76	0.05	36.9	3.3		
Eta Aql	0.856	3.9	0.67	0.03	32.8	0.7	B	6, 12
Y Aur	0.586	9.6	-	-	33.2	3.3		
RT Aur	0.572	5.5	0.53	0.07	29.4	1.5		
RX Aur	1.065	7.7	0.69	0.03	30.5	1.2	B	42, 52, 63
SY Aur	1.006	9.1	0.57	0.04	25.8	2.4		
YZ Aur	1.260	10.4	0.60	0.06	42.6	3.1	B	51, 52, 57, 70
AN Aur	1.012	10.5	0.58	0.03	37.6	2.4	B	51, 66, 70
AO Aur	0.830	10.9	-	-	34.6	2.5		
AS Aur	0.502	11.9	-	-	40.6	2.9	B	57
BK Aur	0.903	9.4	0.61	0.02	-	-		
CY Aur	1.141	11.9	-	-	37.1	1.3		
RW Cam	1.215	8.7	0.37	0.09	51.3	3.1	B	6, 17, 70
RX Cam	0.898	7.7	0.69	0.03	34.5	1.2	B	18, 46, 67
RY CMa	0.670	8.1	0.62	0.03	33.9	1.7	B	73
RZ CMa	0.629	9.7	0.57	0.02	40.7	5.3	b	51, 52, 54, 70
SS CMa	1.092	9.9	0.65	0.03	23.6	0.9	B	24, 69
TW CMa	0.845	9.6	0.59	0.05	34.7	4.4		
<i>VZ CMa</i>	0.495	9.4	0.55	0.04	39.0	2.4	B	62, 69, 70
AO CMa	0.765	12.1	-	-	34.2	2.7		
U Car	1.589	6.3	0.73	0.04	25.2	1.2		
V Car	0.826	7.4	-	-	33.3	2.5	B	13, 64
SX Car	0.687	9.1	0.64	0.02	28.0	2.4		
UW Car	0.728	9.5	0.62	0.02	28.3	2.3		
UX Car	0.566	8.3	0.60	0.02	27.5	1.5		
UY Car	0.744	9.0	-	-	33.5	1.7		

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
UZ Car	0.716	9.3	-	-	35.7	2.6		
VY Car	1.277	7.5	0.82	0.06	30.5	1.0	B	24, 69
WW Car	0.670	9.8	-	-	34.1	2.4		
WZ Car	1.362	9.3	0.70	0.04	31.1	1.2	b	59
XX Car	1.196	9.4	0.69	0.03	22.9	0.8		
XY Car	1.095	9.3	0.84	0.04	33.2	1.4		
XZ Car	1.221	8.6	0.62	0.03	30.1	1.7		
YZ Car	1.259	8.7	0.69	0.03	22.0	1.4	O	7, 20
AQ Car	0.990	8.9	0.70	0.04	30.7	1.9		
CR Car	0.989	11.6	-	-	33.3	2.9		
CT Car	1.257	12.3	-	-	31.3	0.8		
CY Car	0.630	9.8	-	-	33.3	2.6		
ER Car	0.888	6.8	0.69	0.04	38.8	3.4		
EY Car	0.459	10.3	0.43	0.07	47.0	8.3	B	69, 70
FI Car	1.129	11.6	-	-	39.4	1.3		
FR Car	1.030	9.7	0.82	0.07	34.1	2.2	B	69
<i>FZ Car</i>	0.554	12.0	0.59	0.07	33.7	1.6		
<i>GH Car</i>	0.758	9.2	0.53	0.05	-	-		
<i>GI Car</i>	0.647	8.3	0.56	0.08	37.3	3.7	b	9, 70
GX Car	0.857	9.3	0.69	0.04	-	-		
<i>IT Car</i>	0.877	8.1	0.80	0.03	29.8	2.9		
<i>V397 Car</i>	0.315	8.3	0.58	0.03	-	-		
l Car	1.551	3.7	0.92	0.11	32.8	1.1		
RS Cas	0.799	9.9	0.57	0.05	33.3	1.2		
RW Cas	1.170	9.2	0.76	0.04	32.3	1.0		
RY Cas	1.084	10.0	0.67	0.02	28.2	1.6	B	44, 61
<i>SU Cas</i>	0.290	6.0	0.49	0.07	35.7	2.4	B	12, 66
SW Cas	0.736	9.7	0.64	0.02	27.6	4.4		
SY Cas	0.610	9.9	0.62	0.01	30.4	1.1	B	69
<i>SZ Cas</i>	1.135	9.9	0.67	0.04	26.5	1.2		
UZ Cas	0.629	11.4	0.51	0.06	42.3	3.8	b	70
VV Cas	0.793	10.8	-	-	23.8	4.2		
VW Cas	0.778	10.7	0.60	0.04	44.7	3.8	b	70
XY Cas	0.653	10.0	0.63	0.03	37.9	1.0		
<i>BD Cas</i>	0.562	11.1	-	-	40.0	4.2		
BF Cas	0.560	12.5	-	-	31.4	2.3		
BP Cas	0.797	10.9	-	-	36.0	2.6		
<i>BY Cas</i>	0.508	10.3	0.52	0.05	32.7	6.0	O	39, 40, 48
CEa Cas	0.711	10.9	0.60	0.01	32.1	1.6	B	+ CEb Cas
CEb Cas	0.651	11.1	0.70	0.03	27.9	3.2	B	+ CEa Cas

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
CF Cas	0.688	11.2	0.61	0.03	37.2	1.6		
CG Cas	0.640	11.4	-	-	27.0	1.0	B	69
CT Cas	0.581	12.3	-	-	41.8	1.6		
DD Cas	0.992	9.9	0.63	0.04	38.0	1.5	b	51, 52, 70
DF Cas	0.583	10.9	0.71	0.04	-	-		
DL Cas	0.903	9.0	0.70	0.03	37.6	1.0	O	18, 35
FM Cas	0.764	9.1	0.65	0.03	36.9	1.6		
LT Cas	0.771	12.6	-	-	34.3	1.7		
<i>V379 Cas</i>	0.634	9.1	-	-	37.5	2.9		
<i>V636 Cas</i>	0.923	7.2	0.76	0.07	35.2	3.2		
V Cen	0.740	6.9	0.62	0.04	31.5	1.6		
VW Cen	1.177	10.3	0.84	0.07	30.1	1.4	B	51, 52, 54, 69
XX Cen	1.040	7.8	0.66	0.03	23.6	1.2	B	18, 65
AY Cen	0.725	8.8	0.67	0.01	37.0	1.1		
<i>AZ Cen</i>	0.507	8.6	0.48	0.09	29.4	3.5		
<i>BB Cen</i>	0.602	10.1	-	-	27.0	4.1		
KN Cen	1.532	9.9	0.38	0.05	33.9	1.3	B	6, 17, 64, 70
MZ Cen	1.015	11.6	-	-	41.0	2.5		
OO Cen	1.110	12.1	-	-	36.0	1.6	B	69
QY Cen	1.249	11.8	-	-	30.9	0.8		
V339 Cen	0.976	8.8	0.79	0.07	27.9	2.4		
<i>V378 Cen</i>	0.810	8.5	0.70	0.04	29.8	2.4		
V381 Cen	0.706	7.7	-	-	30.5	1.6		
<i>V419 Cen</i>	0.741	8.2	0.60	0.02	34.4	2.6		
V496 Cen	0.646	9.9	0.69	0.02	-	-		
<i>V659 Cen</i>	0.750	6.6	0.48	0.07	43.0	5.5	B	16, 17, 70
AK Cep	0.859	11.2	-	-	43.6	3.4	B	61
CP Cep	1.252	10.6	-	-	37.6	0.7	B	61
<i>CR Cep</i>	0.795	9.7	0.83	0.08	43.8	2.6	b	70
<i>IR Cep</i>	0.325	7.8	0.52	0.07	37.3	1.6	B	41, 44
<i>V351 Cep</i>	0.448	9.5	-	-	38.3	2.9	B	41
Delta Cep	0.730	4.0	0.62	0.04	30.3	0.6	V	58
AX Cir	0.722	5.9	0.39	0.09	50.0	2.6	B	13, 17, 18, 64, 70
<i>BP Cir</i>	0.380	7.5	0.36	0.10	34.1	3.1	B	17, 26, 70
R Cru	0.765	6.8	0.64	0.04	28.9	3.1		
S Cru	0.671	6.6	0.58	0.04	29.0	1.7		
T Cru	0.828	6.6	-	-	40.1	3.2	B	13, 47
X Cru	0.794	8.4	0.58	0.05	28.9	2.8		
SU Cru	1.109	9.8	1.25	0.15	22.1	1.5	B	8, 69, 73
SV Cru	0.845	12.1	-	-	31.7	1.2		

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
VW Cru	0.721	9.6	0.68	0.04	-	-		
VX Cru	1.087	12.0	0.67	0.04	23.2	0.9	B	69
AD Cru	0.806	11.1	-	-	31.7	1.1		
AG Cru	0.584	8.3	0.52	0.05	27.9	1.5	B	9, 32, 54
<i>BG Cru</i>	0.524	5.5	0.52	0.06	29.0	4.2	B	64
X Cyg	1.214	6.4	0.86	0.09	34.9	0.5		
SU Cyg	0.585	6.9	0.45	0.09	35.6	0.8	O	10, 18, 19, 70
SZ Cyg	1.179	9.5	0.85	0.08	38.1	2.0	B	48, 51, 66, 70
TX Cyg	1.168	9.6	0.79	0.05	29.5	2.3		
VX Cyg	1.304	10.1	0.78	0.05	35.5	1.9		
VY Cyg	0.895	9.6	0.63	0.04	33.9	2.7		
VZ Cyg	0.687	9.0	0.61	0.04	33.5	1.4	B	40, 60
BZ Cyg	1.006	10.2	0.83	0.07	38.0	1.8	b	48, 52, 66, 70
CD Cyg	1.232	9.0	0.80	0.05	33.2	1.0		
<i>DT Cyg</i>	0.398	5.8	0.52	0.09	33.3	1.9		
GH Cyg	0.893	9.9	0.57	0.04	30.7	1.7		
MW Cyg	0.775	9.5	0.68	0.02	35.0	1.2	B	38, 40, 46
V383 Cyg	0.664	10.9	-	-	35.9	1.6		
V386 Cyg	0.721	9.7	0.66	0.01	35.6	1.3	b	48, 51, 66
V402 Cyg	0.640	9.9	0.61	0.03	35.6	1.6		
V438 Cyg	1.050	11.0	-	-	30.2	0.5		
V459 Cyg	0.860	10.6	-	-	35.2	1.3		
<i>V495 Cyg</i>	0.828	10.6	0.45	0.07	44.2	2.4	b	70
V520 Cyg	0.607	10.9	0.64	0.36	39.5	2.2	b	70
<i>V532 Cyg</i>	0.516	9.1	0.52	0.07	36.0	2.7	b	51, 66, 72
V538 Cyg	0.787	10.5	0.66	0.04	38.3	1.7		
<i>V924 Cyg</i>	0.746	10.7	0.62	0.03	37.5	3.4		
<i>V1154 Cyg</i>	0.692	9.2	0.63	0.04	42.8	2.4	B	42, 70
<i>V1334 Cyg</i>	0.523	5.9	0.28	0.10	44.3	4.5	B	13, 18, 66, 70
<i>V1726 Cyg</i>	0.627	9.0	0.53	0.07	32.7	3.2		
TX Del	0.790	9.2	0.76	0.04	28.2	0.5	B	43, 49
Beta Dor	0.977	3.7	0.69	0.05	33.3	0.8		
W Gem	0.898	7.0	0.68	0.03	34.4	1.5	b	13, 66
RZ Gem	0.743	10.1	0.52	0.05	28.0	2.1	B	51, 52, 66
AA Gem	1.053	9.7	0.70	0.04	30.6	3.2	B	24, 57
AD Gem	0.578	9.9	0.57	0.05	39.4	1.5	b	66, 70
BB Gem	0.363	11.4	0.43	0.07	29.5	0.9		
BW Gem	0.421	12.1	-	-	34.4	2.3		
<i>DX Gem</i>	0.497	10.7	0.63	0.05	45.8	3.0	B	4, 70
Zeta Gem	1.006	3.9	0.82	0.04	35.9	1.2	V	58

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
BB Her	0.876	10.1	0.72	0.02	33.0	1.4		
V Lac	0.698	9.0	0.58	0.04	30.0	1.3		
<i>X Lac</i>	0.736	8.4	0.59	0.04	37.4	1.4	B	42, 50, 70, 72
Y Lac	0.636	9.2	0.52	0.06	35.5	1.3	B	16, 27, 37, 42, 66
Z Lac	1.037	8.5	0.69	0.03	28.6	0.9	O	25, 46
RR Lac	0.807	8.9	0.63	0.03	30.8	0.7	B	42
BG Lac	0.727	8.9	0.62	0.03	39.3	2.7	B	52, 66, 70
<i>GH Lup</i>	0.967	7.6	0.77	0.04	36.1	3.1	B	54, 64
<i>V473 Lyr</i>	0.173	6.2	0.52	0.06	62.1	3.9		
T Mon	1.432	6.2	0.76	0.05	29.6	0.8	B	21
SV Mon	1.183	8.3	0.76	0.03	33.4	1.3		
TX Mon	0.940	11.0	-	-	43.3	3.3	B	57, 70
TZ Mon	0.871	10.8	0.61	0.05	37.8	2.1	B	69, 70
<i>UY Mon</i>	0.380	9.4	-	-	33.3	2.2		
WW Mon	0.669	12.5	0.61	0.01	36.1	1.8		
XX Mon	0.737	11.9	0.57	0.07	32.7	1.6	B	69
AC Mon	0.904	10.1	-	-	32.2	1.2	B	55
BE Mon	0.432	10.6	0.60	0.03	33.5	1.4		
CV Mon	0.731	10.3	0.59	0.03	36.5	1.8	B	23, 36, 51, 54
FI Mon	0.517	13.0	-	-	39.3	2.8		
FT Mon	0.534	12.7	-	-	29.8	1.9		
<i>V465 Mon</i>	0.433	10.4	0.70	0.02	30.2	3.1	B	5
V495 Mon	0.612	12.4	-	-	42.4	3.7	B	57, 70
<i>V508 Mon</i>	0.616	10.5	0.56	0.05	38.8	2.1		
<i>V510 Mon</i>	0.873	12.7	-	-	38.1	3.2		
<i>V526 Mon</i>	0.427	8.6	0.38	0.11	-	-	b	70
R Mus	0.876	6.3	-	-	28.0	1.3	B	47
S Mus	0.985	6.1	-	-	44.3	1.3	O	11, 30, 70
RT Mus	0.489	9.0	0.62	0.03	30.2	1.2	B	69
UU Mus	1.066	9.8	0.67	0.04	23.8	1.9		
S Nor	0.989	6.4	0.74	0.01	33.9	0.8	B	16, 24, 51, 64
U Nor	1.102	9.3	0.73	0.04	22.8	1.5		
RS Nor	0.792	10.0	-	-	27.2	1.8		
SY Nor	1.102	9.5	-	-	63.1	3.8	B	5, 6, 17, 58, 70
TW Nor	1.033	11.7	-	-	34.4	1.4		
GU Nor	0.538	10.4	0.62	0.01	35.7	1.8		
<i>QZ Nor</i>	0.578	8.9	0.52	0.07	36.0	2.0		
<i>V340 Nor</i>	1.054	8.4	0.77	0.04	38.3	1.9		
<i>Y Oph</i>	1.234	6.2	0.70	0.04	22.5	1.0	B	13, 64
BF Oph	0.609	7.4	0.63	0.03	30.8	1.9	B	3, 48, 64

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
RS Ori	0.879	8.4	0.61	0.03	31.8	1.9	B	27, 66
CR Ori	0.691	12.3	0.56	0.02	34.3	2.7	B	69
CS Ori	0.590	11.4	0.44	0.08	29.3	1.0	B	57
GQ Ori	0.935	9.0	0.65	0.05	34.3	4.0		
SV Per	1.046	9.0	0.48	0.08	42.8	2.1	B	6, 17, 34, 70
UX Per	0.660	11.6	-	-	29.5	1.0	B	57
UY Per	0.730	11.4	-	-	33.5	1.5		
VX Per	1.037	9.3	0.62	0.03	30.5	0.8		
VY Per	0.743	11.3	-	-	33.9	1.1	B	68
AS Per	0.697	9.8	0.56	0.04	23.2	4.3		
AW Per	0.810	7.5	0.49	0.06	37.8	1.2	B	17, 66, 70
BM Per	1.361	10.4	-	-	32.0	1.5		
<i>CI Per</i>	0.518	12.7	0.46	0.07	41.0	3.6	B	56, 70
<i>V440 Per</i>	0.879	6.3	0.58	0.05	39.3	6.0	B	42
X Pup	1.414	8.6	0.65	0.04	33.1	2.7		
RS Pup	1.617	7.0	0.78	0.06	32.8	3.1		
VW Pup	0.632	11.4	-	-	34.6	4.1	B	57
VZ Pup	1.365	9.7	0.70	0.03	28.7	2.8		
WW Pup	0.742	10.5	-	-	34.4	1.7		
WX Pup	0.951	9.1	0.78	0.03	30.8	5.0		
WY Pup	0.720	10.6	-	-	33.3	1.1		
AP Pup	0.706	7.4	-	-	36.7	2.4	B	50
AQ Pup	1.478	8.8	0.80	0.06	29.7	1.0	B	24, 51, 52, 73
AT Pup	0.824	8.0	0.60	0.03	33.0	1.7	B	18, 33
BN Pup	1.136	9.9	0.79	0.04	32.1	2.0		
LS Pup	1.151	10.5	0.69	0.04	34.0	2.4	B	69
<i>MY Pup</i>	0.755	5.7	0.55	0.05	39.3	3.2		
S Sge	0.923	5.6	0.71	0.03	32.3	1.2	O	29
GY Sge	1.713	10.2	0.93	0.14	32.8	2.9		
U Sgr	0.829	6.7	0.69	0.06	35.4	0.8	B	5, 58
W Sgr	0.881	4.7	0.66	0.04	30.8	0.6	O	1, 2, 12
X Sgr	0.846	4.6	0.62	0.05	28.6	2.0	B	13, 65
Y Sgr	0.761	5.8	0.66	0.03	35.6	1.7	B	13, 64
VY Sgr	1.132	11.6	-	-	31.5	1.9	B	55
WZ Sgr	1.339	8.1	0.89	0.07	31.3	1.0	B	61
XX Sgr	0.808	8.9	-	-	36.9	3.5		
YZ Sgr	0.980	7.4	0.68	0.04	35.1	2.7	B	69
AP Sgr	0.704	7.0	0.61	0.04	29.3	1.5	B	32
AV Sgr	1.188	11.4	-	-	25.7	1.2	B	69
AY Sgr	0.818	10.5	-	-	52.3	3.5	b	70

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
BB Sgr	0.822	7.0	0.72	0.03	34.8	1.5	B	32, 61
V350 Sgr	0.712	7.5	0.61	0.04	36.8	1.3	O	16, 22, 23, 40
V773 Sgr	0.760	12.4	-	-	38.5	2.5		
V1954 Sgr	0.791	10.8	0.70	0.03	>25.9	-		
RV Sco	0.783	7.1	0.63	0.04	28.5	1.5	B	13, 58, 64
RY Sco	1.308	8.0	0.60	0.03	24.4	1.4	B	24, 58
KQ Sco	1.458	9.8	0.92	0.12	26.2	2.3		
V482 Sco	0.656	8.0	0.63	0.03	35.4	1.9	B	12, 73
V500 Sco	0.969	8.8	0.75	0.03	36.2	1.8	b	48, 51, 52, 64
V636 Sco	0.832	6.7	-	-	38.1	0.6	O	16, 50, 70
<i>V950 Sco</i>	0.529	7.3	0.39	0.10	-	-	b	70
X Sct	0.623	10.0	-	-	27.1	1.0	b	24
Y Sct	1.015	9.7	0.72	0.04	31.3	1.9	b	64
Z Sct	1.111	9.6	-	-	26.4	1.7		
RU Sct	1.294	9.5	0.80	0.06	29.3	0.8	B	69
SS Sct	0.565	8.2	0.61	0.03	34.4	3.0		
TY Sct	1.043	10.9	0.70	0.03	25.2	0.9	B	55
UZ Sct	1.169	11.3	0.67	0.04	35.9	1.1	B	55
BX Sct	0.807	12.3	-	-	32.5	1.6	B	61
CK Sct	0.870	10.6	-	-	33.1	1.8		
CM Sct	0.530	11.1	-	-	36.4	1.6		
CN Sct	1.000	12.5	-	-	31.4	3.8		
<i>EV Sct</i>	0.490	10.1	0.59	0.02	40.5	2.2		
AA Ser	1.234	12.3	-	-	30.2	1.0		
CR Ser	0.724	10.9	-	-	32.3	1.7		
ST Tau	0.606	8.2	0.52	0.06	31.4	0.7		
<i>SZ Tau</i>	0.498	6.5	0.61	0.07	42.4	1.8	B	13, 42, 70
<i>EU Tau</i>	0.323	8.1	0.51	0.06	37.6	1.9		
R TrA	0.530	6.7	0.56	0.05	32.1	2.9	B	18, 32
S TrA	0.801	6.4	0.65	0.04	28.5	1.6		
T Vel	0.666	8.0	0.66	0.03	37.4	2.5	B	9, 33, 48, 70
V Vel	0.641	7.6	0.60	0.05	35.3	2.3	B	13, 64
RY Vel	1.449	8.4	0.69	0.03	24.7	2.1		
RZ Vel	1.310	7.1	0.74	0.05	25.7	1.7		
ST Vel	0.768	9.7	-	-	33.9	3.0		
SV Vel	1.149	8.6	0.66	0.05	24.7	2.3		
SW Vel	1.370	8.2	0.64	0.05	30.3	1.9		
SX Vel	0.980	8.3	0.67	0.03	34.7	3.4		
<i>AH Vel</i>	0.626	5.7	0.56	0.05	37.0	2.7	B	31
BG Vel	0.840	7.6	-	-	38.4	4.6	b	9, 48

II. táblázat (folytatás)

Cefeida	$\log P$	$\langle V \rangle$	AIT	σ	AA	σ	Kettősség	Hivatkozás
CS Vel	0.771	11.7	-	-	29.3	1.1		
DP Vel	0.739	11.8	-	-	38.7	2.9	B	69
DR Vel	1.049	9.5	0.77	0.09	36.0	2.1		
EZ Vel	1.538	12.4	-	-	31.6	1.1		
S Vul	1.835	9.0	0.87	0.10	30.5	2.4	B	42
T Vul	0.647	5.8	0.57	0.05	34.0	1.4	B	15
U Vul	0.903	7.2	0.66	0.01	28.2	1.2	B	45, 66, 69
X Vul	0.801	8.9	0.71	0.02	32.0	0.7	B	13, 66
SV Vul	1.653	7.3	0.82	0.06	26.9	0.6	B	13, 69
BR Vul	0.716	10.7	0.63	0.02	-	-		
HV837	1.630	13.3	0.72	0.04	33.7	1.6	B	45
HV883	2.127	12.2	-	-	38.5	1.2	B	45
HV11157	1.839	13.0	0.74	0.04	34.1	2.1	B	45

Hivatkozások a II. táblázathoz:

1. Albrow M.D., Cottrell P.L. 1996, MNRAS 280, 917
2. Babel J., Burki G., Mayor M., Waelkens C., Chmielewski Y. 1989, A&A 216, 125
3. Balona L. A. 1977, MNRAS 178, 231
4. Balona L. A. 1983, Obs., 103, 163
5. Bersier D., Burki G., Mayor M., Duquennoy A. 1994, A&AS 108, 25
6. Böhm-Vitense E., Proffitt C. 1985, ApJ 296, 175
7. Coulson I. M. 1983, MNRAS 205, 1135
8. Coulson I. M., Caldwell J. A. R. 1989, MNRAS 240, 285
9. Dean J.F. 1977, MNASSA 36, No.1, 3
10. Evans N. R. 1988, ApJS 66, 343
11. Evans N. R. 1990, PASP 102, 551
12. Evans N. R. 1991, ApJ 372, 597
13. Evans N. R. 1992a, ApJ 384, 220
14. Evans N. R. 1992b, ApJ 385, 680
15. Evans N. R. 1992c, AJ 104, 216
16. Evans N. R. 1992d, ApJ 389, 657
17. Evans N. R. 1994, ApJ 436, 273
18. Evans N. R. 1995, ApJ 445, 393
19. Evans N. R., Bolton C. T. 1990, ApJ 356, 630
20. Evans N. R., Butler J. 1993, PASP 105, 915
21. Evans N. R., Lyons R. W. 1994, AJ 107, 2164
22. Evans N. R., Sugars B. J. A. 1997, AJ 113, 792
23. Evans N. R., Udalska J. 1989, JRASC 83, 308
24. Evans N. R., Udalski A. 1994, AJ 108, 653
25. Evans N. R., Welch D. L. 1993, PASP 105, 836
26. Evans N. R., Arellano Ferro A., Udalska J. 1992, AJ 103, 1638

27. Evans N.R., Szabados L., Udalska J. 1990b, PASP 102, 981
28. Evans N.R., Welch D.L., Scarfe C.D., Teays T.J. 1990a, AJ 99, 1598
29. Evans N.R., Welch D.L., Slovak M.H., Barnes T.G. III, Moffett T.J. 1994, AJ 106, 1599
30. Evans N.R., Massa D., Teays T. 1994, AJ 108, 2251
31. Gieren W.P. 1980, A&AS 39, 153
32. Gieren W.P. 1982, ApJS 49, 1
33. Gieren W.P. 1985, ApJ 295, 507
34. Gieren W.P., Brieva E. 1992, A&A 253, 126
35. Gieren W.P., Welch D.L., Mermilliod J.-C., Matthews J.M., Hertling G. 1994, AJ 107, 2093
36. Gieren W.P., Mermilliod J.-C., Matthews J.M., Welch D.L. 1996, AJ 111, 2059
37. Gorynya N.A., Irsmbabetova T.R., Rastorgouev A.S., Samus N.N. 1992a, Pis'ma v Astr. Zhu., 18, No. 9, 777
38. Gorynya N.A., Samus N.N., Irsmbabetova T.R., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S., Smekhov M.G., Tokovinin A.A. 1992b, IBVS No. 3776
39. Gorynya N.A., Samus N.N., Rastorgouev A.S. 1994, IBVS No. 4130
40. Gorynya N.A., Samus N.N., Berdnikov L.N., Rastorgouev A.S., Sachkov M.E. 1995a, IBVS No. 4199
41. Gorynya N.A., Samus N.N., Berdnikov L.N., Rastorgouev A.S., Sachkov M.E. 1995b, a 155. IAU-kollokviumon bemutatott poszter
42. Gorynya N.A., Samus N.N., Rastorgouev A.S., Sachkov M.E. 1996, Pis'ma v Astr. Zhu, 22, 198
43. Harris H.C., Welch D.L. 1989, AJ 98, 981
44. The Hipparcos Input Catalogue 1992, ESA SP-1136
45. Imbert M. 1994, A&AS 105, 1
46. Imbert M. 1996, A&AS 116, 497
47. Kovács G., Kisvarsányi E., Buchler J.R. 1990, ApJ 351, 606
48. Kurochkin N.E. 1966, Perem. Zvezdy, 16, 10
49. Laney C.D. 1995, Proc. IAU Coll. No. 155, ASP Conf. Ser. vol. 88, 367
50. Lloyd Evans T. 1982, MNRAS 199, 925
51. Madore B.F. 1977, MNRAS 178, 505
52. Madore B.F., Fernie J.D. 1980, PASP 92, 315
53. Mianes P. 1963, Ann. Astr., 26, 1
54. Pel J.W. 1978, A&A 62, 75
55. Pont F., Mayor M., Burki G. 1994, A&A 285, 415
56. Pont F., Queloz D., Burki G., Mayor M. 1996, A&A 318, 416
57. Pont F., Szabados L. 1997, kézirat
58. Proust D., Ochsenbeim F., Pettersen B.R. 1981, A&AS 44, 179
59. Russo G., Sollazzo C., Coppola M. 1981, A&A 102, 20
60. Samus N.N., Gorynya N.A., Kulagin Yu.V., Rastorgouev A.S. 1993, IBVS No. 3934
61. Samus N.N., Szabados L. 1997, előkészületben
62. Stobie R.S., Balona L.A. 1979, MNRAS 189, 641
63. Szabados L. 1988, PASP 100, 589
64. Szabados L. 1989, Commun. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest,

- 65. Szabados L. 1990 MNRAS 242, 285
- 66. Szabados L. 1991, Commun. Konkoly Obs. Hung. Acad. Sci., Budapest, No. 96
- 67. Szabados L. 1992a, IBVS No. 3812
- 68. Szabados L. 1992b, Obs., 112, 57
- 69. Szabados L. 1996, A&A, 311, 189
- 70. Szabados L. 1997, előkészületben
- 71. Udalski A., Evans N. R. 1993, AJ, 106, 348
- 72. Usenko I.A. 1990, Kinem. i Fiz. Neb. Tel., 6, No. 3, 91
- 73. Vinkó J. 1991, ApSS, 183, 17
- 74. Welch D.L., Evans N.R., Lyons R.W., Harris H.C., Barnes T.G. III, Slovak M.H., Moffett T.J. 1987, PASP 99, 610